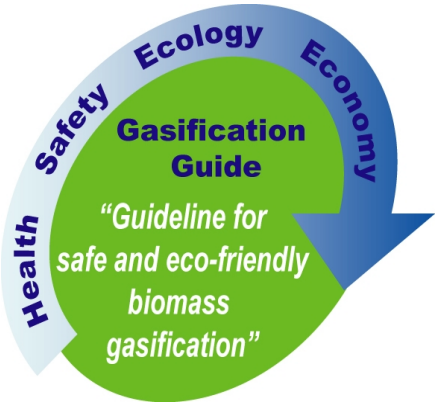
Leitfaden für die sichere und umweltverträgliche Biomassevergasung



Deutsche Version

November 2009

Das Projekt wird vom Europaausschuss mitfinanziert.

Intelligent Energy Europe

I. Vorwort

Die Vergasung von Biomasse stellt eine vielversprechende Technologie dar, die sicher, energieeffizient und umweltfreundlich ist und einen bedeutenden Beitrag zur Erzeugung erneuerbarer Energie leisten kann. Die Technologie zur Vergasung von Biomasse muss vorangetrieben werden und steht kurz vor der Kommerzialisierung. Jedoch wird die Umsetzung in großem Maßstab durch verschiedene Faktoren erschwert. Führende Vergaserexperten weltweit haben Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltbelange (HSE) als ein wesentliches Hindernis bei der Vermarktung der Technolgie identifiziert.

In vielen Fällen führt die unzureichende Kenntnis von bzw. mangeldem Verständnis für HSE Angelegenheiten sowie ihre Nichtbeachtung zu lange und komplizierte Prozeduren bei der Umsetzung eines Projekts, hohe Kosten und manchmal zum Scheitern des Vorhabens. Aus den gleichen Gründen neigen die zuständigen Behörden dazu den Betreibern von Vergasungsanlagen unrealistische und kostenintensive Anforderungen aufzuerlegen. Ein allgemein akzeptierter Leitfaden für HSE Angelegenheiten würde diese Barriere auf wirksame Weise überwinden und so signifikant zur Entwicklung einer sicheren und umweltfreundlichen Technologie beitragen.

Mit der Unterstützung des ”Intelligent Energy for Europe programme” (Vertag Nr. EIE-06-078), wurde eine Methodik zur einfachen Risikobewertung von einer internationalen Arbeitsgruppe entwickelt. Das Hauptresultat ihrer Arbeit ist dieser Leitfaden, der auf die Etablierung eines sicheren technischen Standes bei der Vergasung von Biomasse abzielt. Die Projektgruppe des Vergaserleitfadens glaubt, dass die Anleitung der Interessengruppen, die für Gesundheits-, Sicherheits-, und Umweltfragen verantwortlich sind, dabei helfen wird dieses Ziel zu erreichen.

Risikobewertung bei der Vergasung von Biomasse nimmt weltweit einen immer höheren Stellenwert ein. Dieser Leitfaden stellt ein effektives Mittel zur Identifizierung von Sicherheitsrisiken und zur kostengünstigen Ermittlung von Maßnahmen zur Risikominderung dar. Hersteller und Betreiber von Vergasungsanlagen erkennen die Notwendigkeit von Risikobewertung. Die meisten haben allerdings nicht die Werkzeuge, die Erfahrung oder die Mittel um Risiken quantitativ abschätzen zu können.

Der aktuelle Leitfaden basiert auf einer allgemein anerkannten Methodik, wissenschaftlichen Erkenntnissen und dem gesunden Menschenverstand. Wenn die Möglichkeit besteht, werden immer messbare Parameter von existierenden Biomassevergasungsanlagen und Anlagen verwendet, die gerade entwickelt oder gebaut werden. Berücksichtigt wird auch die gängige Praxis aus der chemischen Industrie und Erdölraffinerien. Dieser Leitfaden bietet einen allgemeinen Überblick und hat keinen Anspruch auf absolute Vollständigkeit. Manche Aussagen sind kontrovers und offen für Diskussionen. Wir bitten Sie um Resonanz bei kontroversen Aussagen.

Das Vorhandensein eines praktischen Leitfadens für die Vergasung von Biomasse wird verschiedene Zielgruppen, wie z. B. Hersteller, Betreiber, Wissenschaftler, Behörden, Berater und Endverbraucher oder Investoren bei der Bewertung von HSE

Risiken unterstützen und ihnen dabei helfen realistische Maßnahmen zur Reduzierung der Risiken vorzuschreiben und fairen HSE Anforderungen aufzuerlegen.

Anerkennung:
Hiermit möchten wir den Experten innerhalb der Beratergruppe sowie diejenigen außerhalb unsere Anerkennung für ihre Kommentare und Vorschläge während der Vorbereitung dieses Dokuments zeigen. Besonderen Dank geht an diejenigen, die aktiv beigetragen haben, bei den Fallstudien, durch ihr Feedback und in Form von Bemerkungen oder Empfehlungen zu diesem Dokument. Dank auch an alle, die ihre wertvolle Zeit zur Nutzung des Software-Tools aufgewendet haben.

Die Arbeitsgruppe möchte ihre Dankbarkeit an folgende Personen Ausdruck verleihen, die zur Entwicklung des Leitfadens und/oder Software-Tools auf freiwilliger Basis mitgewirkt haben:

Herr Henrik Flyver Christiansen, Danish Energy Authority, Denmark
Herr Gerhard Schmoeckel, Bavarian Environmental Agency (LfU), Deutschland
Herr Des Mitchell, OGen Ltd, UK
Herr Luis Sanchez, Eqtec, Spain
Herr Frédéric Dalimier, Xylowatt, Belgium
Herr Steve Scott, Biomass Engineering Ltd., UK
Herr Thomas Otto, TOC, Deutschland
Herr Jacques Chaineaux, Ineris, Frankreích

Das Projekt wurde vom Januar 2007 bis Dezember 2009 von der folgenden Arbeitsgruppe durchgeführt:

1. Herr J Vos and H Knoef der BTG biomass technology group, Niederlande, **vos@btgworld.com**, **knoef@btgworld.com**, **www.btgworld.com**
2. Herr M Hauth, Institut für Wärmetechnik der technischen Universität Graz, Österreich, **martin.hauth@TUGraz.at**, **www.iwt.tugraz.at**
3. Herr U Seifert, Fraunhofer-Institut für Umwelts, Sicherheits und EnergieTechnik UMSICHT, Deutschland, **ulrich.seifert@umsicht.fraunhofer.de**, **www.umsicht.fraunhofer.de**
4. Prof. Hofbauer und Herr M Fuchs, Institute of Chemical Engineering Vienna University of Technology, Austria, **fuchsm@mail.tuwien.ac.at**, **www.vt.tuwien.ac.at**
5. Dr L Cusco and L Véchot, Health & Safety Laboratory/HSE, United Kingdom, **Laurence.Cusco@hsl.gov.uk**, **www.hse.gov.uk/**
6. Herr T E Pedersen and RM Hummelshøj, COWI A/S Energy, Denmark, **TEP@cowi.dk**, **www.cowi.dk**
7. Prof. Ivan Ivanov, Safety and Environmental Engineering Laboratory (SEEL), Technical University of Sofia, Bulgaria, **ivec@tu-sofia.bg**, **www.tu-sofia.bg**
8. Subunternehmer Umwelt + Energie, Mr R. Buehler, Switzerland, **ruedi.buehler@udena.ch**
9. Subunternehmer FEE, Herr E Oettel, Deutschland, **info@fee-ev.de**, **www.fee-ev.de**

Haftungsausschluss:

Die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses vorläufigen Berichts tragen die Autoren. Der Inhalt gibt die Meinung der Autoren und nicht immer die Meinung der europäischen Gemeinschaft wieder. Der Europaauschuss übernimmt keinerlei Verantwortung für jedwede Nutzung der Information, die der Leitfaden beinhält.

Obgleich jede Anstrengung unternommen wurde dieses Dokument so akkurat wie möglich zu gestalten, können die Verfasser keine Haftung übernehmen und schließen jegliche Haftung ausdrücklich aus und geben keine Garantie rechtsverbindliche Versprechen oder Verpflichtung, ob geäußert oder impliziert, in Bezug auf die Rechtschaffenheit, oder bei etwaigen Fehlern, Versäumnissen oder Abweichungen in diesem Dokument und oder das Vertrauen in ihrem Inhalt ist gänzlich das Eigenrisiko des Benutzers.

III. Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 10
1.1 Der Hintergrund 10
1.2 Das Ziel 11
1.3 Die Zielgruppen 11
1.4 Der Anwendungsbereich des Leitfadens 12
1.5 Ein Überblick 14
2 Beschreibung der Technologie 15
2.1 Einführung 15
2.2 Brennstofflagerung, Vorbehandlung, Transport und Zufuhr 16
2.3 Zusatzbrennstoffe und Betriebsmittel 17
2.4 Der Vergasungsreaktor 17
2.5 Gaskühlung 18
2.6 Gasreinigung 18
2.7 Gasnutzung 19
2.8 Abgasreinigung 19
2.9 Generatorgas Eigenschaften und damit verbundene HSE Belange 20
2.9.1 Typsiche Zusammensetzungen des Gases und seine physikalischen Eigenschaften 20
2.9.2 Explosionsstärke und Verbrennungsdruck 21
2.10 Automatisierung und Steuerung 21
3 Rechtlicher Rahmen der Biomassevergasung 22
3.1 Einleitung 22
3.2 Herstellung und Inverkehrbringen 22
3.3 Errichtung und Betrieb von Biomassevergasungsanlagen 26
3.4 Genehmigungsverfahren für Biomassevergasungsanlagen 32
3.5 Spezielle Aspekte des Genehmigungsverfahrens für Biomassevergasungsanlagen in europäischen Staaten 35
3.6 Rechtlicher Hintergrund von Anforderungen mit Bezug auf "Beste verfügbare Techniken" 36
4 Theoretische Grundlagen der Risikobewertung 38
4.1 Einführung 38
4.2 Risikobewertungsverfahren für die Anwendung an Biomassevergasungsanlagen 38
4.3 Gefahrenidentifizierung und ihre Konsequenzen 40
4.4 Risikobewertung 41
4.5 Maßnahmen zur Risikominderung 43
4.6 Dokumentierung der Ergebnisse einer Risikobewertung 44
4.7 Software Tool für die Risikobewertung 45
5 Potentielle Gefahrenquellen und der Stand der Technik in der Praxis 47
5.1 Einleitung 47
5.2 Die wichtigsten Sicherheitsbetrachtungen 48
5.3 Der Stand der Technik in Bezug auf Anlagendesign und Betrieb 49
5.3.1 Der Stand der Technik bei der Konstruktion einer Anlage 49
5.3.2 Gute technische Praxis und die Wahl der Anlagenkomponenten 50
5.3.3 Empfehlungen für Betriebsabläufe und Überwachung 53
5.3.4 Zusatzmaßnahmen 54
5.4 Sicherheitsanliegen aus der Praxis 54

5.4.1 Explosion / Verpuffung 55
5.4.2 Feuer 59
5.4.3 Das Auslaufen von toxischen Flüssigkeiten 61
5.4.4 Das Entweichen von toxischen Gasen (CO) 61
5.4.5 Bedienfehler 62
5.5 Normen und Standards 62
5.5.1 Eine Norm für die Gasdichtheit 63
5.5.2 Literatur über Zoneneinteilung und Explosionsschutz 64
5.6 Die Dokumentation 70
5.6.1 Die Betriebsanleitung 70
6 Emission abatement in biomass gasification plants 72
6.1 Emission abatement techniques 72
6.1.1 Fuel storage, pre-treatment, transport and feeding 73
6.1.2 Gasification reactor 73
6.1.3 Gas cooling and gas cleaning 73
6.1.4 Gas engine operation and exhaust gas cleaning 74
6.2 Emission limit values 74
6.2.1 Emission limits in Denmark 75
6.2.2 Emission limits in Germany 75
7 Referenzen 78

IV. Abkürzungen und Definitionen

Abkürzungen

ABV	Anti backfiring valve
ALARP	As Low As Reasonably Practicable
API	American Petroleum Institute
ATEX	ATmosphères EXplosibles(French) (= explosionsfähige Atmosphären)
BGP	Biomass Gasifier Plant
CEN	Comité Européen de Normalisation (= Europäisches Komitee für Normung)
CHP	Combined Heat and Power
COMAH	COntrol of MAjor Accident Hazards
DS	Dansk Standard
EC	European Community
EEC	European Economic Community
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis
FR	Fire Resistance
HAZOP	HAZard and OPerability
HAZID	HAZard IDentification
HSE	Health, Safety and Environment
IC	Internal Combustion
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control
INF	Informationshæfte (DK)- [Short note]
O&M	Operation and Maintenance
PI	Piping and Instrumentation
PLC	Programmable Logic Controller
ppm	parts per million
PSV	Pressure Safety Valve
RA	Risk Assessment
RP	Recommended Practice
SIL	Safety integrity level
SME	Small and Medium Enterprises (KMU in German)
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

Definitionen

Biomasse: Jegliches Material, das biologischen Ursprungs ist, ausgenommen Material, das in geologische Formationen eingebettet und versteinert ist (Bemerkung: Diese Definition entspricht die Definition von Biomasse in CEN TC 335 Feste Biokraftstoffe. Biomasse ist die einzige nicht-fossile Kohlenstoffquelle.)

Vergasung: Thermische Umwandlung von Kohlenstoffhaltigen Stoffen in ein Produktgas, das hauptsächlich aus CO, H_2, Methan und leichten Kohlenwasserstoffen besteht in Verbindung mit CO_2, H_2O and N_2, abhängig vom angewendeten Verfahren.

Generatorgas: Eine Mischung von Gasen, die bei der Vergasung von organischem Material wie Biomasse bei relativ niedrigen Temperaturen (700 bis 1000ºC) erzeugt wird. Das Generatorgas setzt sich zusammen aus Kohlenmonoxid (CO), Kohlendioxid (CO_2), Stickstoff (N_2) und typischerweise einer Reihe von Kohlenwasserstoffen, wie beispielsweise Methan (CH_4). Generatorgas kann als

Brennstoff, z.B. in einem Heizkessel, oder in einem Verbrennungsmotor zur Stromerzeugung genutz werden oder mit KWK verbrannt werden. Die Zusammensetzung des Gases kann durch die Wahl der Vergasungsparameter verändert werden um für die Verwendung als Brenngas (Generatorgas) oder Synthesegas optimiert zu werden. Synthesegas enthält fast ausschließlich CO und H_2 und ist für die Synthese von flüssigen Biokraftstoffen geeignet.

Synthesegas: Ein Gasgemisch ausschließlich aus Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H_2). Im Anschluß an die Gasreinigung, bei der alle Verunreinigungen wie z. B. Teere entfernt werden, kann das Sythesegas (Syngas) eingesetzt werden um organische Moleküle, wie z.B. synthetisches Erdgas (SNG – Methan (CH_4)) oder flüssigen Biokraftstoffen, wie z.B. synthetischen Diesel herzustellen (nach dem Fischer-Tropsch Verfahren).

Umweltverträglich: Die Erhaltung einer gesunden Umwelt und der Schutz von lebenserhaltenden ökologischen Prozessen. Es beruht auf fundiertem Wissen und bedarf, oder wird resultieren in Produkten, Herstellungsverfahren, Entwicklungen, etc., die mit lebenswichtigen ökologischen Prozessen und der menschlichen Gesundheit harmonisieren.

Verpuffung: Eine Explosion, die eine Druckwelle erzeugt, deren Geschwindigkeit unterhalb der Schallgeschwindigkeit liegt.

Detonation: Eine Explosion mit einer Druckwelle, deren Geschwindigkeit über der Schallgeschwindigkeit liegt.

CE-Kennzeichnung: Die CE-Kennzeichnung symbolisiert die Konformität eines Produktes mit den Anforderungen der Europäischen Gemeinschaft deren Erfüllung dem Hersteller des Produktes obliegen. Sie zeigt an, dass das Produkt alle Vorschriften der Gemeinschaft für ihre Anbringung entspricht.

Zoneneinteilung: Dies sind die Definitionen für die Zonen 1, 2, und 22 aus der Richtlinie 1999/92/EC:

Zone 1 Ein Ort, an dem eine explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Stoffen in Form von Gas, Dampf oder Nebel beim normalen Betrieb wahrscheinlich gelegentlich auftritt.

Zone 2 Ein Ort an dem eine explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Stoffen in Form von Gas, Dampf oder Nebel, beim normalen Betrieb wahrscheinlich nicht auftritt. Wenn eine solche Atmosphäre auftritt, bleibt sie nur für eine kurze Zeit bestehen.

Zone 22 Ein Ort an dem eine explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke brennbaren Staubes in Luft bei normalem Betrieb wahrscheinlich nicht entsteht, wenn doch dann nur für kurze Dauer.

Anmerkung: Die Angabe einer Gerätekategorie (z. B. "II2G") bezieht sich auf Geräteeigenschaften (Sicherheitsniveau der Zündquellenvermeidung) und ist nicht mit der Zoneneinteilung eines explosionsgefährdeten Bereichs zu verwechseln.

Ausdrücke für "Zulassung" und "Anmeldung" in anderen Ländern

Die offiziellen Ausdrücke und Synonyme für die Begriffe “Authorisierung/ Erlaubnis” und “Anmeldung” (bezogen auf klassifizierte Anlagen) aus den verschiedenen EU Ländern sind unten aufgelistet.

State	Authorisation / Permit	Declaration
Austria	Bewilligung	
Belgium	Permis (d'environnement) / (milieu)vergunning	Déclaration / aangifte
Denmark	Godkendelse	Anmeldelse
France	Autorisation	Déclaration
Germany	Genehmigung, Erlaubnis, Bewilligung, Zulassung	Anzeige, Anmeldung
Ireland	Licence, permit, permission	
Italy	Autorizzazione	Comunicazione
Netherlands	Vergunning (wet milieubeheer)	Aangifte
Spain	Autorización	Notificación
Sweden	Tillstånd	Anmälan
Switzerland	Bewilligung, (Plan-) Genehmigung	Anzeige, (Emissions-) Erklärung
United Kingdom (England and Wales)	Authorisation, permit, license, (planning) consent	Notification, declaration

1 Einleitung

1.1 Der Hintergrund

Experten, die durch die internationalen Vergasungsnetzwerke wie GasNet (**www.gasnet.uk.net**) und IEA Bioenergy Agreement Task 33 (**www.ieabioenergy.com**) verbunden sind, sehen in mangelnder Kenntnis und fehlendem Wissen um Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltgefahren wichtige Hindernisse bei der Verbreitung der Vergasungstechnik.
Vergaser, die als Prototyp oder Pilotanlage betrieben werden, werden oft mit vorläufigen Umweltgenehmigungen betrieben, bei denen die festgesetzten Emissionsgrenzwerte normalerweise etwas gelockert sind. Bei Vergasungsanlagen, die gewerblich genutzt werden sollen, neigen die Zulassungsbehörden mangels Vertrautheit mit und Verständnis für die Technik dazu, unangemessen strenge Emissionsgrenzwerte und Sicherheitsauflagen vorzuschreiben. Für die Zulassungsbehörden und für die am Markt agierenden, ist es gleichermaßen schwer die HSE Risiken adäquat einzuschätzen.
Dieses Thema hat seinen Ursprung am Ende der neunziger Jahre, jedoch hat keines der beiden Netzwerke die finanziellen Mittel das Problem aktiv zu bewältigen. Angeregt durch diese beiden Interessengruppen, wurde ein separates Projekt entworfen und durch das Europäische IEE Programm gebilligt. Das Projekt Vergaserleitfaden begann im Januar 2007 und hat eine Laufzeit von drei Jahren wobei die Webseite **www.gasification-guide.eu** bis 2015 aktualisiert werden wird.
Unzureichende Kenntnis über und mangeldes Verständnis für HSE Gefahrenquellen die im Projektdesign, bei der Planung und bei der Konstruktion sowie beim Betrieb und der Wartung von Vergasungsanlagen zu finden sind, stellen ein wesentliches nicht-technisches Hindernis dar. Die verschiedenen Mitglieder der entsprechenden Zielgruppen wie z. B. Hersteller, Betreiber, Investoren, Berater, Behörden sind entweder:

-nicht vertraut mit der Technologie (Zulassungsbehörden, Umweltorganisationen, etc.)
-haben unzureichende Kenntnis von HSE Gefahren oder sind nicht in der Lage HSE Risiken abzuschätzen (Investoren, Endverbraucher, Zulassungsbehörden, Gemeinden)
-haben keine Erfahrung bei der ordnungsgemäßen Umsetzung von Vorschriften und Standards hinsichtlich ihrer Relevanz und Bedeutung (Entwickler, Hersteller, Anlagenmanager)

Die mangelnde Kenntnis und das fehlende Verständnis führen in vielen Fällen zur Vernachlässigung von HSE Belangen, langen und komplizierten Genehmigungsprozeduren, hohen Kosten und mitunter zum Abbruch des Vorhabens. Dieser unbefriedigte Zustand stellt eine Barriere dar, die angeregt durch die Entwicklung von Richtlinien sowie durch Harmonisierungbestrebungen auf europäischer Ebene überwunden werden muss.

1.2 Das Ziel

Das Ziel des **Projekts** "Vergaserleitfaden" ist eine Beschleunigung der Marktdurchdringung mit kleineren Biomassevergasungssystemen (< 5 MW Feuerungsleistung) durch die Entwicklung eines Leitfadens und eines Softwaretools für eine einfache und leicht zugängliche Risikobewertung von HSE Aspekten die gleichzeitig Empfehlungen bereithält wie auftretende Hindernisse zu überwinden sind.

Der Leitfaden soll auch bei der Um- oder Nachrüstung von alten thermischen Anlagen in moderne Vergasungsanlagen in den osteuropäischen Ländern mit großen Biomasse Ressourcen angewendet werden.

Der Ziel dieses **Dokuments** ist es den Hauptzielgruppen bei der Identifizierung von potentiellen Gefahrenquellen behilflich zu sein um ihnen eine angemessene Risikobewertung zu ermöglichen. Der Softwaretool soll bei der Risokobewertung eine zusätzliche Stütze sein.

1.3 Die Zielgruppen

Verschiedene Organisationen, Institute, Industrieunternehmen und Private Körperschaften
sind im Laufe eines Projekts, während der Entwicklung und Umsetzung einer Biomassevergasungsanlage in der einen oder anderen Phase beteiligt.
Zu den Interessengruppen gehören: Projektentwickler, Ingenieure, Gesetzgeber und Zulassungsbehörden, Investoren, Berater, Hersteller und Betreiber.
Im Prinzip gehören sie alle zur Zielgruppe. Zusätzlich spielen die betroffenen Gemeinden und politischen Entscheidungsträger auch eine Schlüsselrolle.
Die Ansichten und Bedürfnisse hinsichtlich der Biomassevergasungtechnologie können unterschiedlich sein. In manchen Fällen können Mitglieder der einzelnen Zielgruppen sogar Interessenkonflikte haben, z. B. Hersteller gegenüber Anlagenbesitzern oder die Endverbraucher gegenüber der Zulassungsbehörde. Für die Umsetzung und Vermarktung der Biommassevergasungtechnologie gibt es drei Hauptzielgruppenkategorien. Die Ansichten und Bedürfnisse dieser drei Kategorien sind:

Der Hersteller einer Biomassevergasungsanlage muss:

- Die Risiken, Schwierigkeiten und Gefahren in bezug auf HSE kennen die beim Betreiben einer Biomassevergasungsanlage auftreten können.
- Die besten Möglichkeiten kennen (die sich z.T. aus dem Anlagendesign ergeben) um Risiken, Schwierigkeiten und Gefahren zu vermeiden oder auf ein Maß zu minimieren das von den Behörden akzeptiert wird
- Zugang zu einem Risikobewertungstool haben und wissen wie man mit der Unterstützung eines Spezialisten eine Risikobewertung vornimmt.
- Wissen welche Prozeduren eingehalten und welche Unterlagen vorbereitet werden müssen um europäischen Anforderungen bzw. Standards gerecht zu werden

Der technische Berater für den Konstrukteur / Besitzer / Finanzierer / Investor einer Biomassevergasungsanlage muss wissen:

Welche Prozeduren man kennen muss oder welche Dokumente man vom Hersteller benötigt
- Welche Schritte man einleiten muss um eine Bau- und Betriebsgenehmigung von der zuständigen Behörde zu bekommen

- Welche Prozeduren man als Arbeitgeber und Betreiber einer Biomassevergasungsanlage oder als Gastgeber für Besucher solcher Anlagen einhalten muss und welcher Unterlagen es bedarf um europäischen Anforderungen gerecht zu werden

Die Zulassungsbehörden müssen wissen:

- Wo potentielle HSE Risiken und Gefahrenquellen liegen
- Wie diese beseitigt werden können:
  - Bei der verfahrenstechnischen Auslegung der Anlage
  - Bei der Konstruktion der Anlage
  - Während des Betriebs und der Wartung der Anlage
- Ob diese Maßnahmen (beim Design, in der Anleitung, etc.) berücksichtigt und umgesetzt wurden
- Wie die Gesetzgebung in bezug auf die Energierohstoffe angewendet wird
- Ob die Dokumentation vollständig und auf dem neuesten Stand ist
- Welche spezifischen Anforderungen einer Vergasungsanlage es in bezug auf HSE Belange gibt

1.4 Der Anwendungsbereich des Leitfadens

Der Leitfaden ist in erster Linie an kleine und mittlere Unternehmen (KMU) gerichtet, die kleine und mittlere Biomassevergasungsanlagen (ungefähr bis 5MW), gekoppelt mit einem Gasmotor bauen sowie an diejenigen, die solche Vergaser besitzen oder benutzen.
Die Nutzung von Abfall oder verschmutzer Biomasse oder die Verwendung durch größere Firmen ist außerhalb des Anwendungsbereiches dieses Leitfadens.

Biomassevergasung ist eine sehr komplexe Technologie und Biomassevergasungsanlagen (BGP) müssen verschiedene europäische Richtlinien und Gesetze einhalten.
Die einzelnen Schritte im Verfahren und potentielle HSE Gesichtspunkte einer typischen Anlage sind in Figur 1-1 dargestellt. Im Hinblick auf die Planung bei der technischen Konzipierung, während der Konstruktion und beim Betrieb muss jeder Schritt sorgfältig bedacht werden. In diesem Leitfaden wird weniger Gewichtung auf Gasmotoren gelegt da diese schon handelsüblich sind und bereits eine CE Kennzeichnung mit Konformitätserklärung aufweisen.

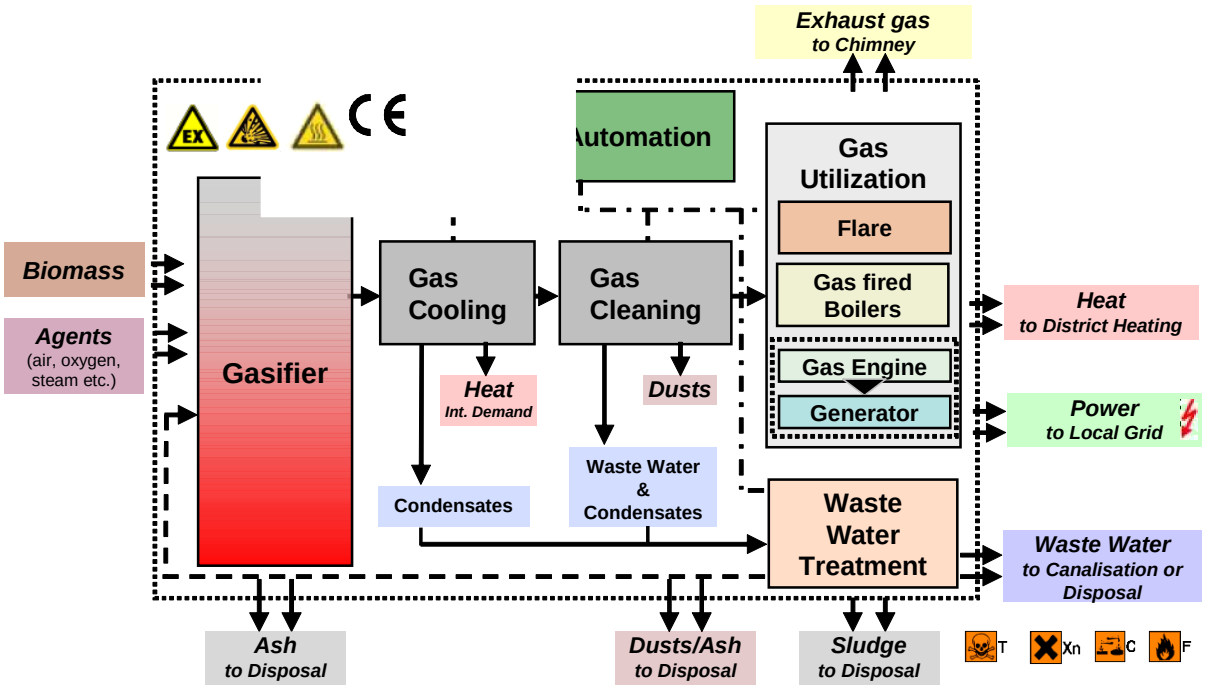


Figure 1-1 : Potentielle Gesundheits-, Sicherheits-, und Umweltbelange bei Vergasungsanlagen

Bei der Formulierung dieses HSE Leitfadens wurden die folgenden Verfahrensschritte und Systemkomponenten berücksichtigt:

- Lagerung und Bearbeitung des Brennstoffs in der Anlage
- Förderung und Einspeisung des Brennmaterials
- Vergasungsreaktor
- Gasaufbereitung
- Gasverwendung (Gasmotor)
- Steuerung und Überwachung
- Periphere Anlagenkomponenten und Zusatzeinrichtungen

1.5 Ein Überblick

Der Leitfaden enthält vier Hauptkapitel. Jedes Kapitel kann für sich gelesen werden ohne das man den Inhalt des anderen Kapitel kennen muss.

Kapitel 2 gibt eine kurze allgemeine Beschreibung der Vergasungstechnik
Kapitel 3 liefert einen Überblick über die wichtigsten Rechtsvorschriften auf dem Gebiet der Anlagebetriebserlaubnis.
Kapitel 4 erklärt den theoretischen Hintergrund der Risikobewertungsmethode und die Maßnahmen zur Risikominderung
Kapitel 5 ist das Herz des Leitfadens und zeigt praktische Beispiele von Prinzipien der guten Gestaltung, des Betriebs und der Wartung

Ein weiteres Hauptergebnis des Projekts Vergaserleitfaden ist ein Softwaretool für eine einfache Risikobewertung von BGPs. Das Javascript basierte SW-Tool und die dazugehörige Anleitung können von der Webseite heruntergeladen werden.

Es sind viele umfangreiche Berichte vorbereitet worden, die den Hintergrund dokumentieren
und die von der Webseite heruntergeladen werden können oder über einen Projektbeteiligten bezogen werden können.

2 Beschreibung der Technologie

2.1 Einführung

Dieses Kapitel gibt einen kurzen Überblick über die verschiedenen Prozessschritte, die in einer Biomassevergasungsanlage (BGP) angewendet werden. Das Kapitel entspricht einer gekürzten Fassung der technologischen Beschreibung, die im "*Deliverable 8: Biomass gasification: State-of-the-art description"* enthalten ist und über folgende Themen ausführlicher berichtet:

- Allgemeine Informationen (z. B. Gestaltung, Informationen über die Emissionen der Anlage, etc.);
- Technologische Details (z.B. Beschreibung der Grundlagen und Grundtechnologien); und
- Wichtige gesundheits-, sicherheits- und umweltrelevante Belange.

Die Vergasung von Biomasse mit einem nachgeschalteten Gasmotor eignet sich besonders für die dezentrale Nutzung des Brennstoffs und die hocheffiziente Kraft-Wärme gekoppelte Energieerzeugung. Abbildung 2-1 zeigt das vereinfachte Diagramm einer BGP und illustriert die Hauptkomponenten, die das Verfahren beschreiben und kennzeichnen.

Der Brennstoff wird normalerweise mit geeignete Brennstoffördersystemen in den Vergasungsreaktor durch einen gasdichten Verschluß zugeführt (mit Ausnahme des Open-Top-Vergasers). Die Umwandlung des Brennstoffs in ein Generatorgas findet im Vergasungsreaktor statt, wo die thermochemische Umwandlungsschritte der Trocknung, Pyrolyse, partielle Oxidierung und Reduktion sowie der Aschentstehung ablaufen. Für relativ kleine Anlagen – wie sie in diesem Leitfaden behandelt werden – wird in der Regel Luft als Vergasungsmittel eingesetzt.

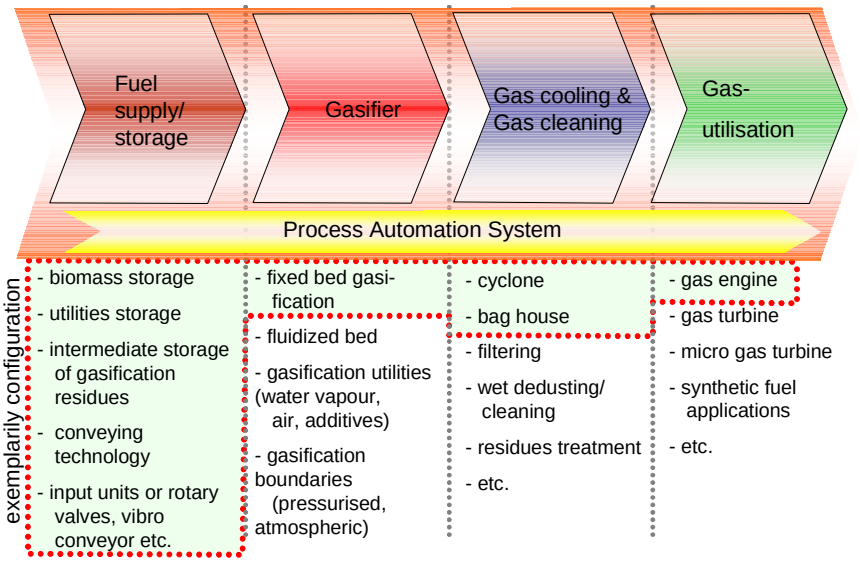


Abb. 2-1: Typische Prozesskette einer Biomasse-KWK-Anlage (Vergleich [1])

Das Generatorgas verläßt den Reaktor bei hohen Temperaturen (600-800^{o}C), besitzt eine bestimmte Heizwert und Schadstoffbelastung. In den nachfolgenden Schritten der Prozesskette, kann die im Generatorgas enthaltene Eigenwärme dazu verwendet werden, Energie für interne Prozesse bereitzustellen, z. B. um den Brennstoff zu trocknen und/ oder für die Fernwärmeversorgung eingesetzt zu werden. In

verschiedenen Reinigungs- und Kühlungskonzepten wird das Generatorgas entweder trocken und/ oder nass gereinigt um die Anforderungen die durch den Gasmotor gegeben sind zu erfüllen. Hinweis: Im Falle der Nassreinigung, kann die Eigenwärme oft nicht genutzt werden.

Während dem Betrieb einer BGP besteht ein höheres Risikopotential, da ein potentiell explosionsfähiges, toxisches und brennbares Gasgemisch erzeugt und genutzt wird. Das Generatorgas und seine Derivate (Asche, Flüssigkeiten, Abgase) können folgende große Gefahren und Risiken verursachen:

- Eine Explosion oder einen Feuer;
- Gesundheitsschäden für Menschen (Vergiftung, Erstickungsgefahr, Lärm, Heiße Oberflächen, Feuer und Explosionen; und
- Gefahr für die Umwelt und der Umgebung (Verschmutzung)

Um solchen ungünstigen Auswirkungen entgegenzuwirken müssen die notwendigen Vorkehrungen getroffen werden und mit ihnen die Voraussetzungen für die erfolgreiche Markteinführung einer sicheren und umweltfreundlichen Technologie für die Biomassevergasung.

2.2 Brennstofflagerung, Vorbehandlung, Transport und Zufuhr

Die Lagerung, der Transport und die Vorbehandlung des Brennstoffs können die Qualität des Brennmaterials beeinflussen (z. B. das Trocknen bei der Lagerung) oder die Stabilität des Vergasungsvorgangs (z. B. die Qualität des Generatorgases, die Stabilität der Wärme und Stromerzeugung, etc.). Der Brennstoff wird in der Regel in einem separaten Gebäude in der Nähe des Hauptgebäudes der Vergasungsanlage gelagert. Meistens wird die Größe des Brennstofflagers im Vergleich zum Verbrauch gemessen bei 2-3 Tagen Anlagenbetrieb ohne Brennstoffanlieferung (um ein Wochenende zu überbrücken) berechnet. Vom Lager wird der Brennstoff in den Bereich der Anlage transportiert, in dem die Vorbehandlung stattfindet. Die wichtigsten Techniken, die es gibt um die Anforderungen eines Vergasungssystems gerecht zu werden sind je nach Herkunft des Brennstoffs: Trocknung, Vereinheitlichung der Größe bzw. Schnitt oder Kompaktierung/Pressen. Nach der Aufbereitung kann das Brennmaterial zu einem Vorratsbehälter gebracht werden. Am häufigsten werden hierfür Laufbänder und Schneckenförderer verwendet. Vom Tageslager wird der Brennstoff weiter zum Einspeisungssystem befördert, das meistens mit einer Dosiereinheit ausgestattet ist. Das Förderband kann mit weiteren Funktionseinheiten ausgestattet sein, wie z.B. Sieben, magnetischen Riemen, Möglichkeiten vorhandene Verunreinigungen und Fremdmaterial zu beseitigen und/ oder einer Trocknereinheit. Die Einspeisung des Brennstoffs in den Vergasungsreaktor erfolgt mit einem drehzahlgeregelten Schneckenförderer und einer Doppelklappensperre mit Trichtersystem oder einer (Drehventil) Zellenradschleuse.

Dabei ist es wichtig zu verhindern, dass Gas während der Einspeisung des Brennmaterials entweicht oder, dass Luft von aussen einströmt. Fehlzündungssichere Systeme können hierfür verwendet werden oder es besteht die Möglichkeit mit Inertgas zu fluten, um das Risiko zu vermeiden, das durch die Bildung von explosionsfähigen Gasgemischen entstehen würde. Räumliche Trennung des Brennstofflagers und des Vergasers minimiert zusätzlich die potentielle Brandgefahr.

2.3 Zusatzbrennstoffe und Betriebsmittel

Zusatzstoffe und Betriebsmittel können benötigt werden wenn die Anlage läuft und bei der Wartung, um für einen stabilen Betrieb der Anlage zu sorgen. Tabelle 2-1 zeigt eine Zusammenfassung.

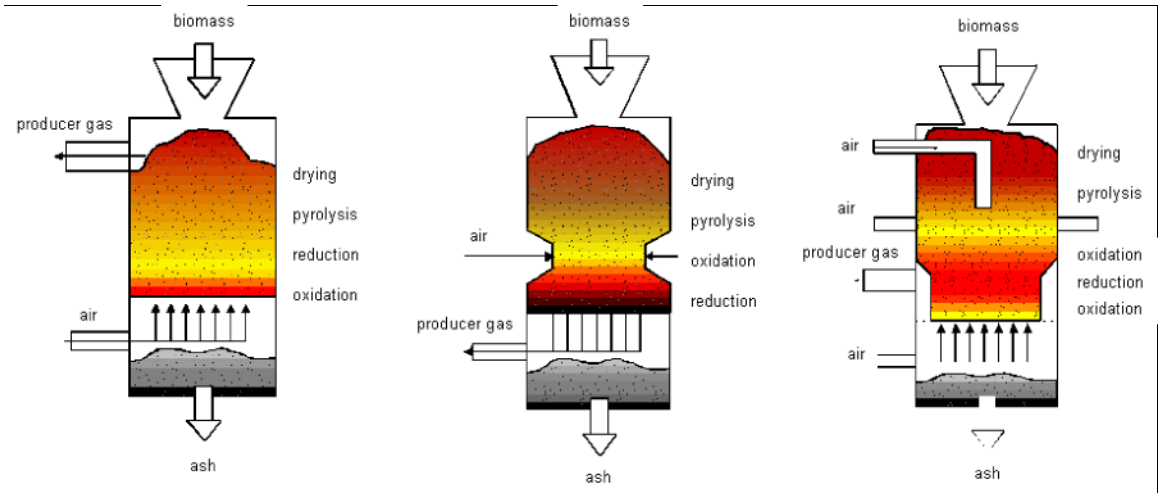
Table 2-1: Beispiele für Zusatzstoffe und Betriebsmittel

Mittel	Einsatzbereich
Erdgas / Propangas	Hilfsfeuerung, beim Einschalten
(Bio)-Diesel	Hilfsfeuerung, Zündstrahlgasmotor
(Bio)-Öle	Schmierstoffe, Lösungsmittel/Waschlösungen
Stickstoff,	Schutzgas /Inertisierung, Löschgas/Flutgas
Wasser, Dampf	Vergasungsmittelzufuhr, Kühlmittel
Luft und komprimierte Luft	Vergasungsmittelversorgung, Betriebsmittel für Betätigungsorgane der Anlage
Strom	Gasgebläse, Förderbänder, Ventilatoren, etc.

2.4 Der Vergasungsreaktor

Die thermochemische Umwandlung von festförmiger Biomasse in ein rohes Generatorgas findet in einem Vergasungsreaktor (Vergaser) statt. In kleinen Anlagen werden hauptsächlich Aufstrom- und Fallstromvergaser eingesetzt (Abb.2-2). Die Reihenfolge der Umwandlungsschritte von Biomasse, wie das Trocknen, die Pyrolyse, die partielle Oxidierung und die Reduktion hängt von der Art des Vergasers ab. In letzter Zeit wurden Konzepte entwickelt und umgesetzt, in denen die verschiedenen Bereiche voneinander physisch getrennt sind, vor allem die der Pyrolyse und der partiellen Oxidierung. Der Hauptgrund für diese Trennung ist die Optimierung der einzelnen Schritte und die Minimierung der Teerproduktion. Am Auslaß enthällt das Generatorgas sowohl die gewünschten Produkte als auch Nebenprodukte:

- gewünschte Produkte: Permanentgas (H_2, CO, CH_4, CO_2, N_2) und Asche mit niedrigem Kohlenstoffgehalt;
- unerwünschte Nebenprodukte: Feststoffpartikel, Staub, Ruß, anorganische (Alkalimetale) und organische Verunreinigungen (Teere oder PAK, Polycyclische Kohlenwasserstoffe).



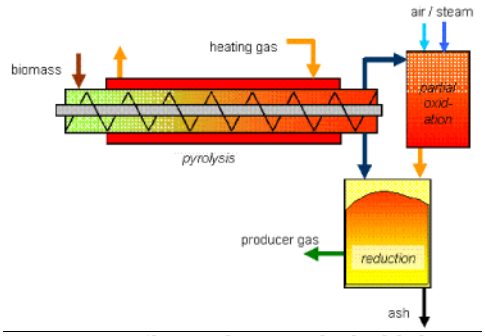


Figure 2-2: Typische Vergaser Konfigurationen bei kleinen bis mittelgroßen Anlagen (Aufstrom-, Fallstromvergaser, Doppelfeuergaserzeuger und zweistufige Vergaser)

2.5 Gaskühlung

Das Ziel der Gaskühlung ist es die Temperatur des Gases auf einen bestimmten Wert zu reduzieren, für:

- Die Weiterverarbeitung des Generatorgases (z. B. Gasreinigung in Sack-Filter); oder
- Die Nutzung im Gasmotor; Kühlung erhöht die Energiedichte des Gases.

Dabei ist es empfehlenswert, die Eigenwärme des Gases zu erhalten. Dies ermöglicht die Bereitstellung von:

- interner Prozesswärme (Dampfquelle, Verdunstungsenergie, etc.);
- Prozesswärme für die Fernheizung.

In Übereinstimmung mit der Konfiguration der Prozesskette, wie sie in Abbildung 2-1 dargestellt wird, kann die Temperatur des Generatorgases in verschiedene Stufen gesenkt werden, vergleich Tabelle 2-2.

Tabelle 2-2: Beispiele für Temperaturbereiche die durch Gaskühlung erzielt werden können

Temperaturbereiche	Prozessschritte
600-800 °C	Zyklone, Keramikfilter
90-250 °C	Gewebefilter
90-400 °C	Gaswäsche, Endkühlung
Umgebungstemperatur nahe	Gasmotor

Bemerkung: Bei Verwendung von Beutel-Gewebefilter muss der Taupunkt für Teer und Wasser berücksichtigt werden. Der Taupunkt ist die Temperatur, bei der die Kondensierung der Moleküle einsetzt. Dies sollte vermieden werden da sonst der Filter verstopft wird, was zu einem Druckabfall führt.

2.6 Gasreinigung

Die Reinigung des Gases is notwendig um die Anforderungen durch den Hersteller des Gasmotors auch unter wechselnden Bedingungen, wie Gasströmung, Zusammensetzung des Generatorgases, Grad der Kontaminierung, etc. zu erfüllen. Die Hauptverunreinigungen des Roh-Generatorgases sind Feststoffpartikel (Ruß, Staub) und Teer. Weitere Verunreinigungen können Ammoniak sein (das im Motor während der Verbrennung zu NO_x umgewandelt wird), HCL, H_2S, Alkali und Säuren. Die Art der Verunreinigungen ist abhängig von den Prozessbedingungen, dem

verwendeten Brennstoff und dem Vergasertyp. Die folgenden Geräte zur Trocken- und/oder Nassreinigung sind gebräuchlich (oder eine Kombination):

- Zyklone – primäre Entstaubung (vor der Gaskühlung);
- Heißgasfilter - Feinentstäubung (vor der Gaskühlung);
- Beutel-Filtersystem - Feinentstäubung (nach der Gaskühlung);
- weitere Filter (Sandbettfilter, aktive Füllkokssäule); und
- Skrubber – Teer- und Staubentfernung mit flüssigen Agenzien (Wasser, Öl, Emulsionen)

2.7 Gasnutzung

Dieser Leitfaden gilt für kleine bis mittelgroße Biomassevergasungsanlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Die Verbrennung im Gasmotor macht eine Konditionierung des aus Biomasse produzierten Gases erforderlich. Dabei müssen die Gasparameter Werte erreichen, die die Spezifikationen des Motors genügen (nahezu konstante Temperatur des Generatorgases, hinreichender Heizwert, Reinheit, Feuchtigkeit sowie der Eingangsdruck am Gasmotor). Gasmotoren sind Handelsware. Demnach müssen die Vergaserhersteller, Anforderungen der Motorenhersteller erfüllen. Es sind nur wenige Ausnahmen bekannt, bei denen Motorenhersteller die Konstruktion des Motors speziell an die Nutzung von aus Biomasse gewonnenem Generatorgas angepasst haben.

Die wichtigsten HSE Belange, die hier berücksichtigt werden müssen, sind diejenigen, die Abgasemissionen betreffen. Produkte, die durch unvollständige Verbrennung, durch Generatorgasausstritt (überwiegend CO und C_xH_y) oder die bei hohen Temperaturen und Brennstoffstickstoff Verbrennung entstehen können, machen den Einsatz von nachgeschalteteten Verarbeitungssystemen notwendig. Diese helfen dabei Emissionshöchstwerte einzuhalten wenn motoreigene Maßnahmen nur unzureichend in der Lage sind Schadstoffe im Abgas zu reduzieren. Die Anwendung verschiedener Techniken zur Nachbehandlung, mit Katalysatoren oder mittels Post-Combustion Technologien, die die Einhaltung von Emissionsgrenzwerten garantieren sind prinzipiell möglich. Langjährige Erfahrung in Bezug auf die Wirksamkeit und Lebensdauer der Katalysatoren ist derzeit noch nicht verfügbar. Die Laufzeit wird wesentlich durch Katalysatorgifte, wie Schwermetalle, Alkaliverbindungen, etc. beeinflusst, die z.T. sehr schnell die Aktivität der katalytischen Beschichtung herabsetzen.

2.8 Abgasreinigung

Abhängig von den geltenden Emissionsbestimmungen muss das Abgas gereinigt werden um zu hohe CO -, C_xH_y -, NO_x - oder Feststoffanteile zu beseitigen. Die Menge hängt vom Sauerstoffgehalt des Abgases ab. Manche sogenannte Magergemischmotoren erfordern eine relativ hohe Sauerstoffgehalt um CO emissionen zu reduzieren.
Es gibt eine sehr begrenzte Menge detaillierter Daten über die Zusammensetzung von Abgasen. In jüngster Zeit hat sich die Konzentration von Benzol als Problem herausgestellt, für das es bisher noch keine Lösung gibt.

2.9 Generatorgas Eigenschaften und damit verbundene HSE Belange

2.9.1 Typsiche Zusammensetzungen des Gases und seine physikalischen Eigenschaften

Bei kleinen Biomassevergasern wird normalerweise Luft als Vergasungsmittel eingesetzt. Dies hat eine bestimmte Zusammensetzung des Generatorgases zur Folge, die sich erheblich von anderen Gasen wie Biogas oder Erdgas unterscheidet. Karakteristiche Eigenschaften von Generatorgas sind in Tabelle 2-3 zusammengestellt.

Tabelle 2-3: Typische Eigenschaften von Generatorgas verglichen mit anderen Gasen

Parameter	Generatorgas	Biogas	Erdgas
CO (vol %)	12-20	<1	<0.5
H_2 (vol %)	15-35	<1	<0.5
CH_4 (vol%)	1-5	50-75	90-99
CO_2 (vol %)	10-15	20-50	<1
N_2 (vol%)	40-50	<1	<1
Heizwert MJ/Nm^3	4.8-6.4	18-26	35
Explosionsgrenzen (vol%)	5-59	8-18	4.5-15
Verhältnis Luft :Gas	1.1-1.5	5-7.5	10

2.9.2 Explosionsstärke und Verbrennungsdruck

Die folgende Aufstellung von Gasanalysen wurde einer zweistufigen Vergasungsanlage entnommen. Die erste Stufe ist durch die Verdunstung und Pyrolyse von Holz Chips durch indirekte Hitze gekennzeichnet. Die zweite Stufe ist die Pyrolyse von Gasen durch direkte Hitze mit Verbrennungsprodukten.

Tabelle 2-4: Beispiele der Explosionsniveaus und Drucke

Zusammensetzung des Gases	Pyrolysegas (1st stage)	Generatorgas (2nd stage)
CO_2	0.15 mol/mol	0.13 mol/mol
CO	0.15 mol/mol	0.09 mol/mol
H_2O	0.46 mol/mol	0.29 mol/mol
H_2	0.13 mol/mol	0.22 mol/mol
CH_4	0.07 mol/mol	0.01 mol/mol
N_2	0.00 mol/mol	0.23 mol/mol
Teer Komponenten	0.04 mol/mol	0.02 mol/mol
Molgewicht	24.3 kg/kmol	22.3 kg/kmol
stöchiometrische Verbrennungsluft mol Luft/ mol Gas	3.00 mol Luft/ mol Gas	1.59 mol Luft/ mol Gas
LEL	0.104	0.12
UEL	0.395	0.62
Explosionsdruck bei 15°C	6.6 barg	6.1 barg
Flammentemperatur bei 15°C	1695 °C	1575 °C
Explosionsdruck bei 500 °C	3.4 barg	2.5 barg
Flammentemperatur bei 500°C	2480 °C	1820 °C

2.10 Automatisierung und Steuerung

Unter den momentanen wirtschaftlichen Bedingungen muss ein BGP vollautomatisiert sein und unbemannt betrieben werden können. Vollautomatisierung hat den Vorteil, dass Sicherheitsmaßnahmen im automatisierten Steuerungssystem einbezogen werden können. Grundsätzlich braucht jede Anlage ein Automatisierungs- und Steuerungssystem, so dass dieses für Kleinanlagen relativ teuer ist. Die folgenden Einzelschritte laufen größtenteils vollautomatisiert ab:

- Brennstoffeinspeisung (Drehzahlregler, oder Öffnungsventile);
- Brennstoffpegel im Vergasungsreaktor;
- Sauerstoffversorgung im Vergasungsreaktor (mit der Brennstoffeinspeisung gekoppelt);
- Reinigungsabfolge der eingesetzten Filter (abhängig von Druckabfall);
- Verhältnis Luft:Gas im Gasmotor.

3 Rechtlicher Rahmen der Biomassevergasung

3.1 Einleitung

Die Planung, die Errichtung, die Inbetriebnahme und der Betrieb von Biomassevergasungsanlagen werden durch eine Vielzahl europäischer und nationaler Vorschriften geregelt. Bei der Ermittlung der für kleine und mittlere Biomassevergasungsanlagen relevanten Regelungen erweist es sich als sinnvoll, zunächst eine grobe Unterteilung vorzunehmen zwischen Anforderungen, die sich auf die Auslegung, die Herstellung und das Inverkehrbringen von BVA auf dem europäischen Markt beziehen, und Anforderungen an die Errichtung und den Betrieb solcher Anlagen. Vereinfacht ausgedrückt bedeutet dies, zwischen den Pflichten des Herstellers einerseits und den Pflichten des Betreibers andererseits zu unterscheiden.

Hersteller- und Betreiberpflichten beruhen auf unterschiedlichen rechtlichen Grundlagen. Der rechtliche Rahmen für Sicherheitsanforderungen an Produkte, die in Europa in den Verkehr gebracht werden, ist in allen Mitgliedsstaaten der europäischen Gemeinschaft weitgehend vereinheitlicht. Die Anforderungen an den Anlagenbetrieb hingegen weisen deutliche regionale Unterschiede auf. Das Ziel dieses Kapitels besteht darin, einen generellen Überblick über die auf Biomassevergasungsanlagen anwendbaren Rechtsbereiche zu vermitteln, und zwar sowohl aus der Sicht eines Herstellers als auch eines Betreibers. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Anforderungen der Arbeitssicherheit und des Gesundheits- und Umweltschutzes (englisch "Health, Safety and Environment", HSE).

Die Gefahren- bzw. Gefährdungsanalyse und die Bewertung von Risiken zählen zu denjenigen Pflichten, die (in unterschiedlicher Form) sowohl den Hersteller einer Anlage als auch den Betreiber der Anlage betreffen.

3.2 Herstellung und Inverkehrbringen

HSE-bezogene Pflichten der Hersteller von Biomassevergasungsanlagen basieren zu einem großen Teil auf europäischen Richtlinien gemäß Artikel 95 des EG-Vertrags. Solche Richtlinien enthalten grundlegende (Sicherheits- und Gesundheits-) Anforderungen, denen alle Produkte genügen müssen, die in den Anwendungsbereich der Richtlinien fallen und für den europäischen Markt bestimmt sind. Richtlinien mit besonderer Bedeutung für BVA sind in Tabelle 3.1 aufgeführt.

Tabelle 3.1: Europäische Richtlinien (mit Anforderungen an die CE-Kennzeichnung), die auf Biomassevergasungsanlagen oder Teile solcher Anlagen anwendbar sein können

Richtlinie: Nummer, Anwendungsbereich	Anwendungsbeispiele (BVA-Anlagen)
73/23/EWG: Niederspannung [2006/95/EG]	elektrische Geräte, Antriebe, Steuerungen und Regler, Generator
89/336/EWG: Elektromagnetische Verträglichkeit [2004/108/EG]	elektrische Geräte, Antriebe, Steuerungen und Regler
98/37/EG: Maschinen [2006/42/EG]	Antriebe, Pumpen, Gebläse, bewegte mechanische Teile, Gasmotor, Brennstoffzuführsystem, Entaschungssystem
94/9/EG: Geräte und Schutzsysteme zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (ATEX-Richtlinie)	Gebläse, Messgeräte, Flammensperren
97/23/EG: Druckgeräte	Wärmetauscher/Kessel, Druckluftsystem
2000/14/EG: Geräuschemissionen von Geräten und Maschinen zur Verwendung im Freien	Förderbänder

Ein gemeinsames Element dieser Richtlinien ist die Bewertung der Konformität (Übereinstimmung) von Produkten mit den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen, die in den Richtlinien festgelegt worden sind. Technische Spezifikationen von Produkten, die den grundlegenden Anforderungen entsprechen, sind z. B. in harmonisierten europäischen Normen niedergelegt. Die Anwendung solcher harmonisierter Normen oder anderer Normen geschieht jedoch freiwillig, und es bleibt dem Hersteller freigestellt, die grundlegenden Anforderungen durch andere technische Spezifikationen zu erfüllen.

Eine umfassende Zusammenstellung der nach dem neuen Konzept verfassten europäischen Richtlinien und der zugehörigen harmonisierten Normen findet man (in Englisch) unter der Internetadresse <http://www.newapproach.org/Directives/DirectiveList.asp>.

Hersteller sind dazu verpflichtet, die Konformität ihres Produkts mit den grundlegenden Anforderungen der anwendbaren Richtlinien herzustellen und zu erklären, können dabei aber häufig zwischen verschiedenen vorgesehenen Verfahren der Konformitätsbewertung wählen.

Es ist offensichtlich, dass bestimmte Teile einer Biomassevergasungsanlage in den Anwendungsbereich von Richtlinien nach der Tabelle 3.1 fallen. Gelegentlich wird die Frage gestellt, ob eine Biomassevergasungsanlage auch als Ganzes in den Anwendungsbereich einer dieser Richtlinien fällt und daher als Gesamtanlage eine CE-Kennzeichnung, Konformitätsbewertung und Konformitätserklärung benötigt. Diese Frage wird auch im Projektbericht D6 ("Listing of actions to harmonise the legal frame for biomass gasification") behandelt, der auf der Webseite des Projekts in englischer Sprache verfügbar ist.

Das nachstehende Zitat aus dem Leitfaden der Europäischen Kommission über Richtlinien nach dem neuen Konzept gibt zu dieser Frage bereits grundsätzliche Hinweise:
"Es liegt in der Verantwortung des Herstellers zu überprüfen, ob sein Produkt in den Geltungsbereich einer Richtlinie fällt.
Eine Kombination aus Produkten und Teilen, die einzeln jeweils den anwendbaren Richtlinien entsprechen, muss als Ganzes nicht in jedem Fall die Bestimmungen erfüllen. … Die Entscheidung darüber, ob eine Kombination aus Produkten und Teilen als ein einziges Fertigprodukt anzusehen ist, muss durch den Hersteller fallweise getroffen werden."[1]

Der Hersteller einer Biomassevergasungsanlage muss ermitteln, bei welchen Teilen der Anlage es sich um Geräte, Systeme oder Baugruppen handelt, die in den Anwendungsbereich von europäischen Richtlinien nach dem neuen Konzept fallen, und für diese Einrichtungen die erforderlichen CE-Kennzeichnungen vornehmen und Konformitätserklärungen ausstellen. Es steht dem Hersteller der Biomasse-vergasungsanlage frei, Zukaufteile anderer Hersteller zu verwenden, die bereits mit CE-Kennzeichnungen und Konformitätserklärungen oder mit Herstellererklärungen geliefert werden.
Es besteht keine zwingende Verpflichtung für den Hersteller, die Gesamtanlage zu einem einzelnen Produkt im Sinne einer der genannten Richtlinien zu erklären und eine Konformitätserklärung für die Gesamtanlage auszustellen. Der Hersteller der Biomassevergasungsanlage muss dem Betreiber jedoch eine Betriebsanleitung mitliefern, z. B. in Form eines Betriebshandbuchs, in der alle wesentlichen Gefahren behandelt werden, die von der Anlage ausgehen, und in dem auch die Schutzeinrichtungen und Sicherheitsvorkehrungen beschrieben sind, die für den sicheren Anlagenbetrieb erforderlich sind. Dies schließt die Inbetriebnahme, die Außerbetriebnahme und Instandhaltung der Anlage ein.

In der Diskussion mit Experten aus verschiedenen EU-Mitgliedsstaaten ergab sich, dass unterschiedliche Auffassungen hinsichtlich der Anwendung einiger der in Tabelle 3.1 aufgeführten Richtlinien auf Biomassevergasungsanlagen und hinsichtlich der Konsequenzen ergeben.
Bezüglich der Maschinenrichtlinie wurde teils vorgeschlagen, Biomassevergasungs-anlagen wie eine "Gesamtheit von Maschinen" zu behandeln und eine Konformitätsbewertung und -erklärung gemäß der Maschinenrichtlinie für diese Gesamtheit vorzunehmen bzw. auszustellen. Für diesen Vorschlag spricht, dass

[1] Leitfaden für die Umsetzung der nach dem neuen Konzept und dem Gesamtkonzept verfassten Richtlinien, Europäische Kommission, Luxemburg, 2000

gemäß der Maschinenrichtlinie eine Gefahrenanalyse grundsätzlich alle mit der Maschine verbundenen Gefahren zu berücksichtigen hat, d. h. neben mechanischen Gefahren sind auch Gefahren z. B. durch Elektrizität, extreme Temperaturen, Vibrationen, Lärm, Freisetzung von Gefahrstoffen sowie Brand- und Explosionsgefahren zu betrachten.
Dem Vorschlag wurde entgegengehalten, dass bereits die allgemeinen Produktsicherheits- und Produkthaftungsanforderungen eine umfassende Gefahrenanalyse und Risikobewertung seitens des Herstellers eines Produkts erfordern, ohne dass das Produkt dazu notwendiger Weise dem Geltungsbereich einer einzelnen nach dem neuen Konzept verfassten Richtlinie zugeordnet werden müsste. Im Übrigen wird bereits in den von der Europäischen Kommission herausgegebenen "Erläuterungen zu den Richtlinien 98/37/EG"[2] ausgeführt: "Die Bestimmung des Begriffs 'Gesamtheiten von Maschinen' sollte mit gesundem Menschenverstand und Augenmaß ausgelegt werden. Es wäre unsinnig, diesen z.B. auf komplette Industrieanlagen, wie Elektrizitätswerke oder Ölraffinerien, ausdehnen zu wollen."

Eine zweckmäßige Lösung für Biomassevergasungsanlagen könnte darin bestehen, Methoden der Gefahrenanalyse und Risikobewertung auf die Gesamtanlage anzuwenden, die für Maschinen gebräuchlich und normiert sind (z. B. nach EN 1050 bzw. ISO EN 14121-1), ohne jedoch die verfahrenstechnische Anlage *als Ganzes* formal als Maschine (oder Gesamtheit von Maschinen) im Sinne der RL 98/37/EG einzuordnen und ohne für die verfahrenstechnische Gesamtanlage eine Konformitätserklärung nach dieser Richtlinie auszustellen.

Diskutiert wurde auch, ob ein Apparat (wie z. B. ein Vergasungsreaktor), der einem Überdruck von mehr als 0,5 bar lediglich im Fall einer Explosion im Inneren ausgesetzt sein kann, als Druckgerät im Sinne der Druckgeräterichtlinie (DGRL) anzusehen ist, verbunden mit der Frage, welche Auslegungsregeln auf einen solchen Apparat anzuwenden sind[3]. Diese Frage bedarf offenbar noch der Klärung durch zuständige Gremien auf europäischer Ebene. Eine detailliertere Betrachtung hierzu findet sich im Projektbericht D6 ("Listing of actions to harmonise the legal frame for biomass gasification"), der auf der Webseite des Projekts in englischer Sprache verfügbar ist.

---

[2] http://ec.europa.eu/enterprise/mechan_equipment/machinery/guide/guide_de.pdf

[3] Hinweise zur Konstruktion, Herstellung und Prüfung von explosionsfesten Geräten finden sich in EN 14460. Diese Norm ist eine harmonisierte Norm zur ATEX-Richtlinie 94/9/EG, nicht jedoch zur Druckgeräterichtlinie.

Bei Biomassevergasungsanlagen im Sinne des vorliegenden Leitfadens handelt es sich derzeit typischerweise um gewerblich genutzte Anlagen. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass künftig kleine Biomassevergaseranlagen entwickelt werden, deren Bedienung so weit vereinfacht ist, dass solche Anlagen in Zukunft eine Alternative zu handelsüblichen Heizungsanlagen darstellen, die von Verbrauchern benutzt werden. In diesem Fall kann es für Hersteller erforderlich werden, zusätzlich die Anforderungen der Richtlinie 2001/95/EG über die allgemeine Produktsicherheit zu berücksichtigen, die für Produkte gilt, die für Verbraucher bestimmt sind oder absehbar von Verbrauchern benutzt werden.
Sicherheits- und Gesundheitsschutzaspekte führen bei Verbraucherprodukten generell zu weiter gehenden Anforderungen als bei ausschließlich gewerblich genutzten Produkten.

3.3 Errichtung und Betrieb von Biomassevergasungsanlagen

Die Errichtung und der gewerbliche Betrieb einer Biomassevergasungsanlage unterliegen zahlreichen Rechtsvorschriften und Regelungen, die einen unmittelbaren Einfluss auf die Gestaltung und die Betriebsweise der Anlage haben können. Aspekte mit besonderer Bedeutung für den Umweltschutz, die Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz, zu denen rechtliche Regelungen existieren, sind in Tabelle 3.2 zusammengestellt.

Tabelle 3.2: Regelungsbereiche mit möglicher Bedeutung für die Errichtung, die Inbetriebnahme und den Betrieb von Biomassevergasungsanlagen

Hauptaspekt	Detailaspekte	Bedeutung für Biomassevergasungsanlagen
Auswirkungen auf die Umwelt	Genehmigungsanforderungen (Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung)	BVA fallen nicht in den Anwendungsbereich der IVU-Richtlinie; nationale Regelungen können dennoch integrierte Genehmigungsverfahren vorsehen, vgl. Tabelle 3.3.
	Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)	eine BVA kann als Vorhaben eingestuft werden, für das ein UVP-Screening erforderlich ist
	Atmosphärische Emissionen: Gase, Staub, Geruch	Emissionen im Normalbetrieb von Gasmotoren, von Fackeln oder aus der Lagerung; auch Anfahr- und Abfahrbetrieb können relevante Emissionen erzeugen
	Lärmemission	Lärm von Apparaten (Gasmotoren, Gebläse, Luftkühler), Materialtransport, Fahrzeuglärm
	Verhinderung von Störfällen	möglicherweise relevant, wenn große Mengen gefährlicher Stoffe auf dem Betriebsgelände gelagert werden
	Abfallerzeugung und -behandlung	Abfälle aus dem Anlagenbetrieb wie z. B. Asche, Teer und verunreinigte Spülflüssigkeiten; spezielle Betrachtung bei betriebsinterner Rückführung von Zwischenprodukten (z. B. Teer aus dem Gasreinigungssystem)
	Abwassereinleitung	Prozessabwasser erfordert ggf. spezielle Behandlung, um Einleitgrenzwerte einzuhalten
	Umgang mit wassergefährdenden Stoffen / Gewässerschutz	Teer, Spülflüssigkeiten, Chemikalien für die Wasseraufbereitung; Benutzung von Kühlwasser
	Bodenschutz	Teer, Spülflüssigkeiten, Chemikalien für die Wasseraufbereitung

Tabelle 3.2 (Forts.)

Hauptaspekt	**Detailaspekte**	**Bedeutung für Biomassevergasungsanlagen**
Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz	Arbeitssicherheit, allgemein	Gefährdungsbeurteilung, Schutzmaßnahmen, Betriebsanweisungen, Persönliche Schutzausrüstung, Notfallmaßnahmen
	Gefahrstoffe und Biostoffe	Zwischenprodukte: Holzgas (CO), Teer; Tätigkeiten mit Chemikalien (Spülflüssigkeiten, Chemikalien für die Wasseraufbereitung), Biologische Arbeitsstoffe (Lagerung von Biomasse)
	Brand- und Exlosions-gefahren; Explosionsschutz	brennbares Holzgas; spezielle Schutzmaßnahmen beim Anfahr- und Abfahrbetrieb; Beurteilung der Explosionsgefährdung (Zoneneinteilung)
	Überwachungsbedürftige Anlagen	besondere Anforderungen für bestimmte Arten von Anlagen und Einrichtungen
	Druckgeräte	Anforderungen bezüglich der Errichtung und Instandhaltung, (wiederkehrende) Prüfungen
	Elektrische Anlagen	Anforderungen bezüglich der Errichtung und Instandhaltung, (wiederkehrende) Prüfungen
	Maschinen	Anforderungen bezüglich der Errichtung und Instandhaltung, (wiederkehrende) Prüfungen
Andere Regelungen	Erneuerbare Energien und Biomasse	mögliche Auswirkungen auf die Auslegung der Anlage, Art der Einsatzstoffe und Betriebsweise: Einspeisevergütung, KWK, Ursprungsgarantie (erneuerbare Energie) Unterscheidung: (naturbelassene) Biomasse / Abfall
	Energieeinspeisung	Anforderungen bezüglich der Netzeinspeisung von elektrischer Energie
	Bebauungsplanung	Wahl des Betriebsgeländes (gewerbliche / industrielle Tätigkeit)
	Gebäudesicherheit	Brandschutz, statische Gebäudesicherheit

Tabelle 3.2 kann als Checkliste bei der Ermittlung der gesetzlichen Anforderungen an eine Biomassevergasungsanlage dienen, die in einem EU-Mitgliedsstaat errichtet werden soll. Die jeweils für die in Tabelle 3.2 genannten Aspekte zutreffenden Rechtsvorschriften müssen individuell ermittelt werden. Es ist empfehlenswert, mit der bzw. den zuständigen Behörden frühzeitig Kontakt aufzunehmen, um Klarheit über die im Einzelfall anzuwendenden Regelungen und Verfahren zu erlangen.

Bereits in einem frühen Stadium der Anlagenplanung sollte insbesondere geklärt werden, welche Arten von Genehmigung(en) für eine bestimmte Biomasse-vergasungsanlage erforderlich sind. Kleine und mittlere BVA bedürfen in vielen Fällen einer umweltrechtlichen Genehmigung; der Genehmigungsbescheid enthält in diesem Fall z. B. Grenzwerte für Emissionen in die Atmosphäre (Abgas, Lärm) und in das Abwasser.

Welche umweltrechtlichen Anforderungen im Einzelnen an eine BVA gestellt werden, einschließlich der Frage, ob und ggf. nach welchem Verfahren Genehmigungen benötigt werden, hängt von einer Reihe von Einstufungskriterien ab, die sich von Land zu Land unterscheiden. Die wichtigsten dieser Kriterien sind nachstehend aufgeführt:

- Art der zu vergasenden Biomasse: naturbelassene Biomasse oder Abfall[4]
- Durchsatz der BVA, bezogen auf den zu vergasenden Einsatzstoff
- Feuerungswärmeleistung bzw. Energieinhalt des erzeugten Holzgases
- Betrieb der BVA als eigenständige Anlage oder als Teil einer größeren (thermischen) Anlage
- Elektrische Leistung des BHKW
- Art des Gasmotors (z. B. Zündstrahlmotor, Ottomotor)
- Jährliche Betriebsdauer des Gasmotors (Spitzenlastbetrieb oder kontinuierlicher Betrieb)
- Datum der Inbetriebnahme der Anlage
- Eigenschaften des Betriebsstandorts und seiner Umgebung (z. B. Industriegebiet, Gewerbegebiet, Wohngebiet, landwirtschaftlich genutzte Fläche)
- Ableitung von verunreinigtem Abwasser

Die genannten Kriterien beziehen sich auf formale Anforderungen (z. B. Genehmigungs- oder Anzeigeerfordernis) wie auch auf materielle Anforderungen und Konsequenzen (z. B. Emissionsgrenzwerte, Einspeisevergütung).

Die Richtlinie 96/61/EG vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie) sieht Maßnahmen zur Vermeidung und zur Verminderung von Emissionen bestimmter Tätigkeiten in Luft, Wasser und Boden vor, um ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen.
Die Situation bezüglich der Genehmigungsanforderungen an Biomassevergasungs-anlagen, die sich aus der nationalen Umsetzung der IVU-Richtlinie im Hinblick auf integrierte umweltrechtliche Genehmigungsverfahren ergeben, ist in Tabelle 3.3 für eine Reihe europäischer Staaten dargestellt (Stand: 31.12.2007).

[4] Eine Vergasung von Abfall, welche in den Geltungsbereich der Abfallverbrennungsrichtlinie 2000/76/EG fallen würde, ist nicht Gegenstand des vorliegenden Leitfadens.

Tabelle 3.3: Nationale Vorschriften zur Umsetzung der IVU-Richtlinie; daraus resultierende Genehmigungsanforderungen für kleine und mittlere BVA, in denen naturbelassene Biomasse eingesetzt wird

Staat	Rechtsvorschriften zur Umsetzung der IVU-Richtlinie	Genehmigungserfordernis für Biomassevergasungsanlagen
(Europa)	(Richtlinie 96/61/EG vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung – IVU-Richtlinie)	(Gemäß Anhang I fallen BVA zurzeit nicht in den Geltungsbereich der IVU-Richtlinie.)[5]
Belgien (Beispiel: Brüssel)	Verordnung über Umweltgenehmigungen [Ordonnance du 5 juin 1997 relative aux permis d'environnement du Ministère de la Région de Bruxelles-Capitale] Liste der klassifizierten Anlagen [Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale fixant la liste des installations de classe IB, II et III]	ja, für die Vergasung von kohlenstoffhaltigem Material (< 500 t/d) (Nr. 39, Klasse IB)
Bulgarien	Umweltschutzgesetz (SG 91/2002) [Закон за опазване на околната среда (ДВ 91/2002)] Verordnung №5 über die Risikobewertung (SG 47/1999) [Наредба №5 за оценка на риска (ДВ 47/1999)]	ja
Dänemark	Umweltschutzgesetz 2006 Verordnung Nr. 1640 vom 13. Dez. 2006 des Umweltministeriums über die Genehmigung bestimmter Vorhaben (Genehmigungsverordnung) [BEK nr 1640 af 13/12/2006 (Godkendelsesbekendtgørelsen)]	ja, wenn die thermische Leistung 1 MW übersteigt (Anhang 2, G 202)
Deutschland	Bundesimmissionsschutzgesetz, BImSchG Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV)	ja, wenn die Feuerungswärme-leistung des Verbrennungsmotors bzw. der Energieeinhalt des erzeugten Gases 1 MW oder mehr beträgt (Anhang, Nr. 1.4 und 1.13)
Frankreich	Umweltgesetz	

[5] Anm.: Gemäß einem Vorschlag der Europäischen Kommission zur Neufassung der IVU-Richtlinie [KOM(2007) 844 vom 21.12.2007] sollen künftig auch "Anlagen zur Vergasung ... von Brennstoffen" ohne untere Leistungsgrenze in den Anhang I der IVU-Richtlinie aufgenommen werden.

	[Code de l'environnement] Liste der klassifizierten Anlagen [Nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement] [Arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation]	ja, für die Erzeugung brennbaren Gases (1410) und für die Verbrennung eines nicht standardisierten Brennstoffs, wenn die Feuerungswärmeleistung 0,1 MW übersteigt (2910)
Großbritannien (England und Wales)	[The Pollution Prevention and Control (England and Wales) Regulations 2000] [The Environmental Permitting (England and Wales) Regulations 2007]	mit der Environment Agency zu klären, vgl. Schedule 1 Part 1, Section 1.1 (Combustion Activities) und Section 1.2 (Gasification, Liquefaction and Refining Activities)
Irland	Umweltschutzgesetz 1992 und 2003 [Protection of the Environment (PoE) Act 1992 and 2003]	(BVA fallen nicht in den Geltungsbereich)
Italien	IVU-Gesetz 2005 [Decreto Legislativo 18 febbraio 2005, n. 59 "Attuazione della direttiva 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento"] Umweltschutzverordnung [Decreto Legislativo 152 del 3 aprile 2006 recante norme in materia ambientale]	(BVA fallen nicht in den Geltungsbereich) ja (Art. 269)
Niederlande	Umweltgesetz [Wet milieubeheer, Wm] Anlagen- und Genehmigungsverordnung [Inrichtingen- en vergunningenbesluit milieubeheer (Ivb)] Wassergesetz [Wet verontreiniging oppervlaktewateren, Wvo]	ja (stationäre Verbrennungsmotoren > 1,5 kW) (Cat. 1, 1.1b)
Österreich	Gewerbeordnung GewO 1994, zuletzt geändert 2006] IG-L Immissionsschutzgesetz – Luft	ja, aber für BVA gelten nicht die speziellen Anforderungen an IVU-Anlagen ja
Schweden	The Environmental Code [SFS 1998:808 Miljöbalk] Ordinance on environmentally hazardous activities [Förordning (1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd]	nein, für Vergaser und Gasmotoren < 10 MW(th), aber Anzeige erforderlich (40-5 and 40.1-2) [ab 1. Jan. 2008: ja, wenn mehr als 150.000 m^3 brennbares Gas pro Jahr erzeugt wird – 40.10 (B)]
Schweiz	(IVU-Richtlinie in der Schweiz nicht umgesetzt!) Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG)	ja; Baugesetze der Schweizer Kantone bestimmen das Genehmigungsverfahren
Spanien	IVU-Gesetz [Ley 16/2002 de 1 de julio de Prevención y	(BVA fallen nicht in den Geltungsbereich)

	Control Integrados de la Contaminación (Ley IPPC)] Luftqualitätsgesetz [LEY 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera]	mit der zuständigen Behörde zu klären: Trockendestillation von Holz (Anhang IV, 1.1.3, Gruppe A); konventionelle Heizkraftwerke < 50 MW thermisch (2.1.1, group B); Gaserzeuger (3.1.2, Gruppe C)

In einigen europäischen Staaten wurde Anhang 1 der IVU-Richtlinie unverändert in nationales Recht übernommen, so dass Biomassevergasungsanlagen nicht in den Geltungsbereich der betreffenden nationalen Regelungen fallen. In anderen europäischen Staaten wurden die Pflichten nach der IVU-Richtlinie mit weitergehenden einzelstaatlichen Vorschriften über die Genehmigung von Anlagen und Vorhaben in einer Rechtsvorschrift kombiniert.
Selbst dann, wenn eine BVA nicht vom Geltungsbereich staatlicher Vorschriften zur Umsetzung der IVU-Richtlinie erfasst wird, können Genehmigungen (z. B. Baugenehmigungen) oder Anzeigen bei zuständigen Behörden aufgrund anderer staatlicher oder regionaler Vorschriften erforderlich sein.

Aus diesem Grund ist dringend zu empfehlen, ein Vorhaben zur Errichtung und zum Betrieb einer Biomassevergasungsanlage frühzeitig mit den örtlich zuständigen Behörden zu besprechen und Auskünfte über die jeweils anzuwendenden Vorschriften einzuholen.

Staatliche Regelungen zur Arbeitssicherheit und zum Gesundheitsschutz bezüglich der in Tabelle 3.2 aufgeführten Aspekte verlangen vom Arbeitgeber generell, Risiken für die Beschäftigten zu vermeiden oder zu minimieren, die Beschäftigten zu schulen und zu unterweisen, für eine geeignete Organisation zu sorgen und erforderliche Mittel bereitzustellen. Zu diesem Zweck muss der Arbeitgeber Gefährdungen beurteilen und Risiken bewerten; die Ergebnisse dieser Beurteilungen und die festgelegten Schutzmaßnahmen müssen schriftlich dokumentiert werden.

Bei einer Biomassevergasungsanlage schließt dies u. a. folgende Dokumente ein:
- ein Verzeichnis der im Betrieb verwendeten Gefahrstoffe,
- ein Explosionsschutzdokument,
- schriftliche unternehmensbezogene Betriebsanweisungen.

Neben öffentlich-rechtlichen Vorschriften sind Arbeitsschutzvorschriften der gesetzlichen Unfallversicherungsträger zu beachten. Hinzu kommen HSE-bezogene Anforderungen der Versicherer, wenn für eine Biomassevergasungsanlage Sach- oder Haftpflichtversicherungsschutz erlangt werden soll.

3.4 Genehmigungsverfahren für Biomassevergasungsanlagen

Wenn eine Genehmigung für die Errichtung und den Betrieb einer Biomasse-vergasungsanlage erforderlich ist, muss der Antragsteller detaillierte Angaben zu

dem Vorhaben machen. Ablauf und Inhalte des Genehmigungsverfahrens sind regional unterschiedlich, u. a. hinsichtlich

- der zuständigen Behörde(n),
- der Informationen, die als Bestandteil des schriftlichen Genehmigungsantrags einzureichen sind,
- der zu benutzenden Antragsformulare und
- der Zahl der einzureichenden Kopien des Genehmigungsantrags.

In der Tabelle 3.4 sind Informationsquellen (als Weblinks) und Suchstrategien zur Ermittlung offizieller Informationen zum Genehmigungsverfahren und zu den vorgeschriebenen Formularen für eine Reihe europäischer Staaten zusammengestellt.

Tabelle 3.4: Übersicht über Informationsquellen zu den notwendigen Angaben in Genehmigungsanträgen für Biomassevergasungsanlagen

Staat	**Anwendungsbereich / Art des Vorhabens; Informationsquellen zu (umweltrechtlichen) Genehmigungsverfahren**
Belgien (Beispiel: Brüssel)	Genehmigungsverfahren für klassifizierte Anlagen: **http://www.ibgebim.be/Templates/Professionnels/Informer.aspx?id=1210&langtype=2060**
Dänemark	Heizkraftwerk, Gasturbine oder Gasmotor im Leistungsbereich 1–5 MW (thermisch): Anlage 5 Abschnitt 3 der Genehmigungsverordnung (BEK No. 1640 vom 13/12/2006) **https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=13040**
Deutschland	Biomassevergaser und Verbrennungsmotoren > 1 MW (FWL): Verordnung über das Genehmigungsverfahren (9. BImSchV), §§ 3, 4 und 4a) bis 4e) **http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/bimschv_9** Zusätzliche Informationen und Antragsformulare sind auf dem Webseiten der Landesumweltministerien zu finden. (Suchstichworte: "Antrag Genehmigung Immissionsschutz <Land>") z. B. für Nordrhein-Westfalen: **http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/immissionsschutz/genehmigungsverfahren/index.php**
Frankreich	Genehmigungsverfahren für klassifizierte Anlagen: **http://installationsclassees.ecologie.gouv.fr/-Regime-d-autorisation-.html** Informationen zu Details des Genehmigungsantrags: **http://installationsclassees.ecologie.gouv.fr/Comment-constituer-le-dossier-de.html**
Großbritannien (England und Wales)	Planning process for renewable energy: **http://www.berr.gov.uk/energy/sources/renewables/planning/process/page18680.html** Energy from solid biomass plants (background document): **http://publications.environment-agency.gov.uk/pdf/GEHO0706BLBH-e-e.pdf?lang=_e** Bedeutung des Begriffs “genehmigungsbedürftige Anlage” (regulated facility): **http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/Business/epr2_v1.0_2000543.pdf**

	Erfüllung der Genehmigungsbedingungen bei Verbrennungseinrichtungen: **http://publications.environment-agency.gov.uk/pdf/GEHO0209BPIN-e-e.pdf**
Irland	Allgemeine Informationen zu Genehmigungsverfahren: Environmental Protection Agency (Ireland) **http://www.epa.ie/downloads/advice/**
Italien	Umweltrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen: Umweltbehörden der Provinzen (Suchstichworte: "autorizzazione ambiente <Provinz>")
Niederlande	Umweltrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen: Antragsformulare für umweltrechtliche Genehmigungen sind auf den Websites der Städte und Gemeinden zu finden. (Suchstichworte: "aanvraag vergunning milieubeheer <Gemeinde>")
Österreich	Gewerblich betriebene Biomassevergasungsanlagen: §§ 353 und 353a der Gewerbeordnung (GewO 1994) **http://www.ris2.bka.gv.at/Bundesrecht/** Detaillierte Informationen zu Genehmigungsverfahren sind im österreichischen "Leitfaden - Anlagensicherheit und Genehmigung von Biomassevergasungs-anlagen" zusammengestellt worden: **http://www.nachhaltigwirtschaften.at/edz_pdf/leitfaden_biomassevergasungsanlagen.pdf**
Spanien	Allgemeine Informationen: Spanisches Umweltministerium **http://www.mma.es/portal/secciones/** (Durch das Luftqualitätsgesetz vom 15. Nov. 2007 wurden neue Genehmi-gungsanforderungen eingeführt.)
Schweden	Umweltrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen: Allgemeine Informationen zu Genehmigungsverfahren auf der Website des schwedischen Umweltministeriums: **http://www.naturvardsverket.se/sv/Verksamheter-med-miljopaverkan/Tillstand-och-anmalan-for-miljofarlig-verksamhet/** Zusatzinformationen und Antragsformulare sind auf den Websites der Landesverwaltungen [länsstyrelsen] zu finden. (Suchstichworte: "tillstånd miljöfarlig verksamhet <Land>")
Schweiz	Industrieanlagen: Baugesuch, Emissionserklärung, Bewilligung für Industrieanlagen: Spezielle Antragsformulare und Leitfäden findet man auf den Webseiten der Schweizer Kantone. (Suchstichworte: "Baugesuch Industrie <Kanton>"; "Plangenehmigung Betriebsbewilligung <Kanton>")

Ein Antrag auf Genehmigung der Errichtung und des Betriebs einer Biomasse-vergasungsanlage muss typischerweise Angaben zu folgenden Punkten enthalten:

- Angaben zum Antragsteller (Name, Adresse),
- genehmigungsrelevante Einstufung der Anlage bzw. der Tätigkeit nach nationaler Klassifikation (z. B. Einordnung gemäß der Liste genehmigungsbedürftiger Anlagen),
- Beschreibung des Anlagenstandorts, ergänzt durch Karten und Lagepläne in unterschiedlichen Maßstäben,
- Beschreibung der Anlagenteile und der Betriebsweise (Text, Fließbilder, Apparatelisten, Aufstellungspläne),

- Stoff- und Energiebilanzen der gesamten Anlage (Einsatzstoffe, Emissionen, Abfälle, Hilfsstoffe, ein- und ausgehende Energieströme) nebst Darlegung, dass sämtliche emittierten Stoffströme berücksichtigt worden sind,
- allgemeine Angaben zum Arbeitsschutz,
- Beschreibung spezieller Gefahren (Brände, Explosionen, Gefahrstoffe) und entsprechender Schutzmaßnahmen,
- Beschreibung und Bewertung möglicher Umweltauswirkungen (z. B. Schallemissionen, Emission von Gasen, Dämpfen und Stäuben in die Atmosphäre),
- Beschreibung des Umgangs mit Abfällen und Abwasser.

Gelegentlich werden zusätzliche Sachverständigengutachten oder -prognosen verlangt, z. B. bezüglich Schallemissionen, Brand- und Explosionsschutz.

3.5 Spezielle Aspekte des Genehmigungsverfahrens für Biomassevergasungsanlagen in europäischen Staaten

Österreich
Eine detaillierte Darstellung des rechtlichen Rahmens für die Errichtung und den Betrieb von Biomassevergasungsanlagen, der im Genehmigungsverfahren erforderlichen Dokumente und der zuständigen Behörden in Österreich ist im "Leitfaden - Anlagensicherheit und Genehmigung von Biomassevergasungsanlagen", Kapitel 4, zusammengestellt worden: http://www.nachhaltigwirtschaften.at/edz_pdf/leitfaden_biomassevergasungsanlagen.pdf. Kleine gewerblich genutzte BVA unterliegen der Gewerbeordnung. Die Erzeugung von Strom mit diesen Anlagen unterliegt dem Elektrizitätswirtschaftsrecht der österreichischen Bundesländer.

Dänemark
Genehmigungsanforderungen an BVA im Bereich von 1 – 5 MW thermischer Leistung sind im Anhang 5 Abschnitt 3 der Genehmigungsverordnung (BEK Nr. 1640 vom 13.12.2006) aufgeführt. Diese Verordnung enthält eine detaillierte Beschreibung der vom Antragsteller im Genehmigungsantrag vorzulegenden Informationen.

Deutschland
Für BVA mit weniger als 1 MW Energieäquivalent des erzeugten Gases bzw. Feuerungswärmeleistung des BHKW ist eine Baugenehmigung durch die örtliche Bauordnungsbehörde erforderlich. Für größere Anlagen ist ein umweltrechtliches Genehmigungsverfahren nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz durchzuführen, wobei diese Genehmigung andere relevante Genehmigungen (z. B. nach Baurecht) einschließt. Erfahrungsgemäß kann die Lärmemission des BVA-Betriebs ein wesentliches Kriterium für die Auswahl eines geeigneten Anlagenstandorts sein.

Niederlande
Genehmigungen für kleine BVA werden durch lokale Behörden erteilt, meistens durch die Kommune oder die Provinz. Die Baugenehmigung ist davon abhängig, dass keine Bodenverunreinigungen am Anlagenstandort vorliegen.

Brandschutz- und -Sicherheitsmaßnahmen werden durch die Kommune und die lokale Feuerwehr beurteilt. Die Anwendung von BVT ist erforderlich, um eine umweltrechtliche Genehmigung und Baugenehmigung zu erlangen.

Schweiz
Umweltschutzaspekte (Emissionen, Abfälle) und Aspekte der Arbeitssicherheit werden im Rahmen des Baugenehmigungsverfahrens behandelt. Das Baugesuch schließt eine Emissionserklärung und einen Antrag auf Plangenehmigung bzw. Betriebsbewilligung einer Industrieanlage ein.
Für Baugenehmigungen sind die kantonalen Baubehörden zuständig. Angaben zum Brandschutz der Anlage sind u. a. der kantonalen Feuerversicherung vorzulegen.

3.6 Rechtlicher Hintergrund von Anforderungen mit Bezug auf "Beste verfügbare Techniken"

Gemäß Artikel 2 der IVU-Richtlinie bezeichnet „beste verfügbare Techniken" (BVT) den effizientesten und fortschrittlichsten Entwicklungsstand der Tätigkeiten und entsprechenden Betriebsmethoden, der spezielle Techniken als praktisch geeignet erscheinen lässt, grundsätzlich als Grundlage für die Emissionsgrenzwerte zu dienen, um Emissionen in und Auswirkungen auf die gesamte Umwelt allgemein zu vermeiden oder, wenn dies nicht möglich ist, zu vermindern; dabei bedeutet
— „Techniken" sowohl die angewandte Technologie als auch die Art und Weise, wie die Anlage geplant, gebaut, gewartet, betrieben und stillgelegt wird;
— „verfügbar" die Techniken, die in einem Maßstab entwickelt sind, der unter Berücksichtigung des Kosten/Nutzen-Verhältnisses die Anwendung unter in dem betreffenden industriellen Sektor wirtschaftlich und technisch vertretbaren Verhältnissen ermöglicht, gleich, ob diese Techniken innerhalb des betreffenden Mitgliedstaats verwendet oder hergestellt werden, sofern sie zu vertretbaren Bedingungen für den Betreiber zugänglich sind;
— „beste" die Techniken, die am wirksamsten zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt sind.
Dem Begriff "beste verfügbare Techniken" entspricht im deutschen Immissionsschutzrecht der Begriff "Stand der Technik" (SdT).

Artikel 9 der IVU-Richtlinie enthält die Anforderung, dass Emissionsgrenzwerte (oder äquivalente Parameter und äquivalente technische Maßnahmen) auf die „besten verfügbaren Techniken" zu stützen sind, ohne dass die Anwendung einer bestimmten Technik oder Technologie vorgeschrieben wird. Hierbei sind die technische Beschaffenheit der betreffenden Anlage, ihr geographischer Standort und die jeweiligen örtlichen Umweltbedingungen zu berücksichtigen.

Biomassevergasungsanlagen im Sinne des vorliegenden Leitfadens fallen aufgrund der Leistung der Anlagen und der Einsatzstoffe nicht in den Geltungsbereich des Anhangs I, Kategorie 1 (Energiewirtschaft) der IVU-Richtlinie und auch nicht unter die in Kategorie 6 (Sonstige Industriezweige) aufgeführten Anlagenarten. Das europäische Regelwerk enthält somit keine Verpflichtung für die Mitgliedsstaaten, Emissionsgrenzwerte für Biomassevergasungsanlagen auf der Grundlage bester verfügbarer Techniken festzulegen. Wie in Kapitel 3.2 dargelegt wurde, fallen kleine

und mittlere BVA jedoch in einigen Mitgliedsstaaten in den Geltungsbereich der Vorschriften, welche die IVU-Richtlinie in nationales Recht umsetzen. Dies hat zur Folge, dass in einzelnen Staaten auch für Biomassevergasungsanlagen Emissionsgrenzwerte auf der Grundlage der besten verfügbaren Techniken festzulegen sind.

Im BREF-Dokument über Großfeuerungsanlagen[6] aus dem Jahr 2006 wird die Vergasung von Biomasse als "emerging technique" (in Entwicklung befindliche Technik) beschrieben, welche derzeit nur in Demonstrations- und Pilotanlagen angewandt wird. Dies kann als Hinweis darauf gewertet werden, dass sich bei Biomassevergasungsanlagen größeren wie auch kleineren Maßstabs die Techniken der Abgasreinigung ebenfalls noch in der Entwicklung befinden. Die Fragen,

- welche der bei Verbrennungsverfahren angewandten Techniken zur Emissionsbegrenzung sich erfolgreich auf Biomassevergasungsanlagen übertragen lassen, und
  welche Emissionswerte auf diese Weise unter Berücksichtigung sowohl umweltbezogener als auch wirtschaftlicher Erwägungen erzielt werden können,

bedürfen noch einer Antwort.

Kapitel 6 dieses Leitfadens enthält eine kurze Beschreibung der Techniken zur Emissionsminderung, die derzeit in kleinen Biomassevergasungsanlagen angewendet werden.

[6] Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants, July 2006, http://www.jrc.es/pub/english.cgi/0/733169

4 Theoretische Grundlagen der Risikobewertung

4.1 Einführung

Die Technologie zur Vergasung von Biomasse unterscheidet sich von anderen Energieumwandlungsmethoden auf der Grundlage erneuerbarer Energieträger (z. B. Verbrennung von Biommasse) dadurch, dass sie die Herstellung, Behandlung und Verwertung von brennbaren und giftigen Gasgemischen, Pflanzenmaterial und Betriebsmittel beinhaltet. Daher wird eine adäquate Risikobewertung dringend empfohlen und ist häufig gesetzlich vorgeschrieben, um eine Anlage vermarkten und betreiben zu können.

Die Risikobewertung hat den Schutz der Beschäftigten und der Anlage selbst zum Ziel. Hersteller und Betreiber müssen bedenken, dass Unfälle und Gesundheitsschäden Leben zerstören können. Das Geschäft kann auch beeinträchtigt werden, wenn durch Störungen und Unfälle die Produktion nachläßt, Maschinen beschädigt werden, Versicherugskosten steigen oder gesetzliche Klagen drohen.

Eine Risikobewertung beinhaltet die sorgfältige Untersuchung der möglichen Ursachen von Schäden für Mensch und Umwelt, die von einer Anlage ausgehen und die sich daraus ergebenden zu ergreifenden Kontrollmassnahmen. Die Hersteller und Betreiber müssen eine komplett und gut dokumentierte Einschätzung der Risiken erstellen in Bezug auf:

- Gesundheit – z. B. Gefahren für die Gesundheit von Menschen durch toxische Gase, etc.;
- Sicherheit – z. B. Explosionsgefahr, Brandgefahr, etc.;
- Umwelt – z. B. Anlagenemissionen, Austritt von giftigen Stoffen

Eine Risikobewertung muss während der Planungsphase (vom Hersteller) durchgeführt werden, um einen Anlagenentwurf zu optimieren. Bei Anlagen, die schon im Betrieb sind bewirkt eine erneute Risikobewertung die kontinuierliche aktualisierung der ursprünglichen Einschätzung (durch die Hersteller und Betreiber) und eine Verminderung der verbleibenden Risiken.
Es gibt verschiedene Methoden der Risikobewertung, aber im allgemeinen existiert kein Standardverfahren für die Risikoeinschätzung bei Biomassevergasungsanlagen. Eine Anleitungen zur Risikobewertung kann man in verschiedenen Fallstudien finden, die in anderen Zweigen der Industrie gemacht wurden (z.B. Lebensmittelindustrie, Chemie- und Metallindustrie, etc.). Solche Beispiele können dabei nur eine Methodik aufzeigen und müssen häufig für die Übertragung auf BGPs angepasst werden.

4.2 Risikobewertungsverfahren für die Anwendung an Biomassevergasungsanlagen

Die Einschätzung von Risiken ist eine komplexe Aufgabe, die umfangreiche Kenntnisse des Produktionsverfahrens, des Betriebsverhaltens sowie Erfahrung mit den Methoden der Risikobewertung selbst voraussetzt. Für diese Aufgabe wird eine

Arbeitsgruppe empfohlen, die Expertisen auf verschiedenen Gebieten hat. Die folgende Informationen werden benötigt:

- Betriebsdaten (Verfahrensdiagramme, Rohrleitungs- und Instrumentenfließbild (R&I Shema), Kennzeichnungssystem und Anlagendokumentation, Anlagendesign, etc.);
- Voreinstellungen für Anlagen Betriebsarten (Kenntnis der Vorgänge beim Ein- und Ausschalten und im normalen Betrieb); Strategien für die Prozesssteuerung;
- Daten über Betriebsmittel, Gasgemische und Betriebsmittelströmungen (z. B. Abwasser, Gasreinigungsderivate, Staube, Emissionen) sowie die entsprechende Sicherheitseigenschaften der Mittel (Giftigkeit, Explosionseigenschaften, etc.);
- Gewünschte Betriebsbedingungen (Temperatur, Druck, Zusammensetzung der Flüssigkeiten und Gase);
- Gerätelisten, detaillierter Bauplan;
- Massen- und Energiegleichgewichte, Eigenschaften des Fertigungsstroms (Temperatur, Druck, Zusammensetzung und Schadstoffbelastung, etc.);
- Informationen über die Umgebung der Anlage (geographische Bedingungen, Umweltaspekte, etc).

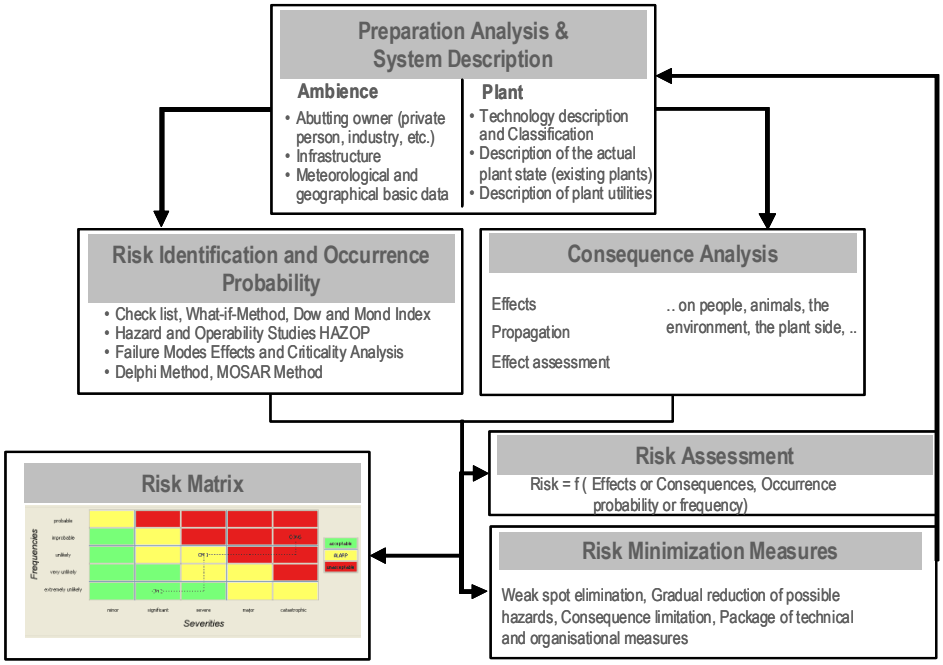

Preparation Analysis & System Description
Ambience
• Abutting owner (private person, industry, etc.)
• Infrastructure
• Meteorological and geographical basic data
Plant
• Technology description and Classification
• Description of the actual plant state (existing plants)
• Description of plant utilities
Risk Identification and Occurrence Probability
• Check list, What-if-Method, Dow and Mond Index
• Hazard and Operability Studies HAZOP
• Failure Modes Effects and Criticality Analysis
• Delphi Method, MOSAR Method
Consequence Analysis
Effects
Propagation
Effect assessment
.. on people, animals, the environment, the plant side, ..
Risk Matrix
Frequencies
Severities
Risk Assessment
Risk = f (Effects or Consequences, Occurrence probability or frequency)
Risk Minimization Measures
Weak spot elimination, Gradual reduction of possible hazards, Consequence limitation, Package of technical and organisational measures

Abb. 4-1 Systematischer Ansatz für die Risikobewertung von Biomassevergasungsanlagen

Da die Vergasung von Biomasse in kleinen Anlagen eine einzigartige und relativ neue Technologie darstellt, sind noch keine speziellen Techniken zur Risikobewertung vorhanden. Dieser Leitfaden empfiehlt eine Methodik zur Risikobewertung, die praktizierbar und hinreichend ist für die Anwendung an dieser Art von Anlagen. Der gewählte Ansatz sollte einer Funktionsanalyse der Anlage zugrundeliegen *[Ref 10-12]* und sich prinzipiell auf die "Gefährdungs- und Betreibbarkeitsuntersuchung" (HAZOP) *[Ref 13, 20]* und die "Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse" (FMEA) *[Ref 14]* Methodik sowie auf die Empfehlungen einer Expertenkommission stützen.

In vielen Fällen hat die Risikobewertung mit einem sehr komplexen System zu tun, die eine enorme Anzahl von meist unabhängigen Funktionen und Anlagenteile umfasst. Durch die Unterteilung des Verfahrens in verschiedene Prozesseinheiten *[Ref 1, 17]* (e.g. Brennstofflagerung, Behandlung, Einspeisung, Vergaser,

Gaskühlung, Gasreinigung, Gasaufbereitung und Gasnutzung), wird das komplexe System vereinfacht. Somit ist eine getrennte Analyse für jede Funktion möglich (e.g. für den Vergaser, Brennstoffversorgung, Versorgung mit Betriebsmitteln für den Vergaser z.B. Dampf und Luft, Überwachung der Temperatur im Vergaser, Entfernung der Asche, etc.).
Die mit der Risikobewertung befasste Arbeitsgruppe muss für jede untersuchte Funktion *[Ref 21]*:

- Die mögliche Gefahren und die zugehörige Ereignishäufigkeit ermitteln;
- Die Folgen dieser Gefahren und den Schweregrad identifizieren;
- Die daraus resultierenden Risiken abschätzen;
- Geeignete Maßnahmen zur Minderung anwenden;
- Die Risikobewertung regelmäßig überprüfen und aktualisieren

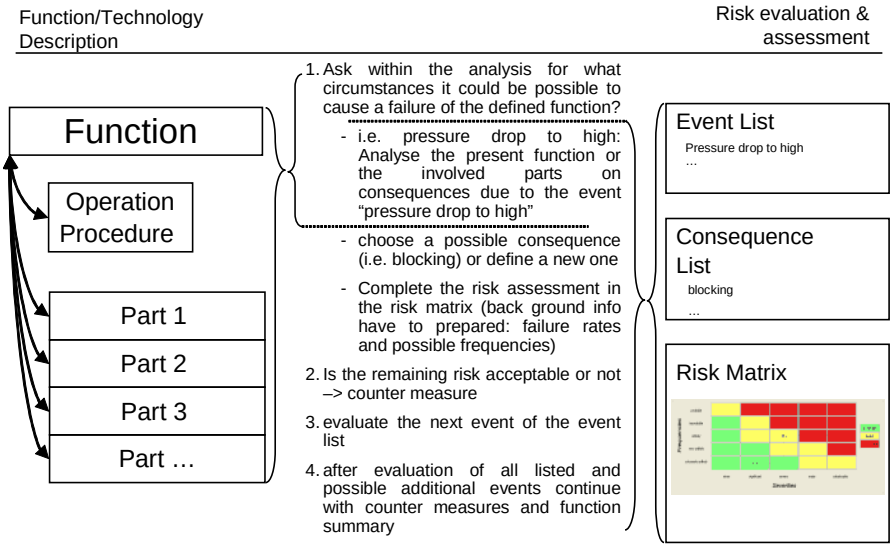

Function/Technology Description
Risk evaluation & assessment
Function
Operation Procedure
Part 1
Part 2
Part 3
Part …
1. Ask within the analysis for what circumstances it could be possible to cause a failure of the defined function?
- i.e. pressure drop to high: Analyse the present function or the involved parts on consequences due to the event "pressure drop to high"
- choose a possible consequence (i.e. blocking) or define a new one
- Complete the risk assessment in the risk matrix (back ground info have to prepared: failure rates and possible frequencies)
2. Is the remaining risk acceptable or not –> counter measure
3. evaluate the next event of the event list
4. after evaluation of all listed and possible additional events continue with counter measures and function summary
Event List
Pressure drop to high
…
Consequence List
blocking
…
Risk Matrix

Abb. 4-2 Schematische Beschreibung für die Risikobewertung und Beurteilung bezogen auf die Untersuchung einer einzigen Funktion

Abb. 4-2 zeigt einen allgemeinen Überblick über die Prinzipien und Methodik, die einer Risikobewertung zugrundeliegen. Alle Schritte der Bewertung müssen gut dokumentiert werden, um Rückverfolgbarkeit zu gewährleisten.
Die folgenden Abschnitte geben die Grundlage für die Durchführung der Gefahrenidentifizierung (Hazard-ID), der Risikobewertung selbst (RA) und für die Umsetzung von konkreten Maßnahmen zur Risikominderung (RR). Ein Beispiel für die Risikobewertung anhand einer Prozess-Konfiguration im Gesamtmodell ist im Software Tool Handbuch enthalten (D11 – Software Tool und Handbuch).

4.3 Gefahrenidentifizierung und ihre Konsequenzen

Die mit der Risikobewertung betraute Arbeitsgruppe muss für jede definierte Funktion eine Gefahrenidentifizierung vornehmen. Diese besteht aus der Identifizierung aller Situationen und Ereignisse, die schädlich für Menschen und die Umwelt sein können. Diese gefährlichen Ereignisse können unterschiedlicher Natur sein:

- Abnormale Betriebsbedingungen (Temperatur, und Druck);
- Störungen der technischen Geräte;
- Leckagen;
- Bedienfehler;

- Die Freisetzung von gefährlichen Stoffen;
- etc.

Der in diesem Leitfaden vorgeschlagene Ansatz ist in erster Linie im Einklang mit der Gefährdungs- und Betreibbarkeitsuntersuchung (HAZOP-Analyse) und Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA), aber es existieren weitere Techniken zur Gefahrenidentifizierung, die angewendet werden können (siehe Annex A).

Die Häufigkeit der einzelnen identifizierten gefährlichen Ereignisse muss ermittelt werden (z. B. Anhand von Ausfallraten von Geräten, vorhandenen Daten) *[Ref 23, 26].* Das untersuchte gefährliche Ereignis kann selbst durch verschiedene Ereignisse oder Situationen verursacht werden, die alle bei der Berechnung der gesamten Ereignishäufigkeit berücksichtigt werden müssen.
Alle diese möglichen gefährlichen Ereignisse müssen analysiert werden, um ihre möglichen Folgen, wie Feuer, Explosionen, Emissionen, etc. zu bestimmen *[Ref 26]* (siehe Abbildung Abb. 4-3).

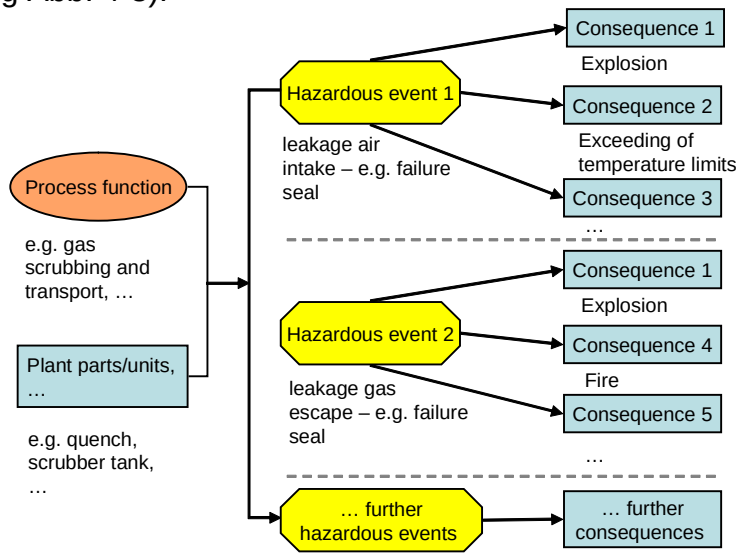


Abb. 4-3 Strukturdiagramm für die Gefahrenidentifizierung

Die Identifizierung der möglichen gefährlichen Ereignisse und ihre Konsequenzen sollte von einem interdisziplinären Expertenteam durchgeführt werden. Dabei sollten realistische Zahlen für die Ermittlung der Häufigkeit und des Schweregrades eines Ereignisses verwendet werden.

4.4 Risikobewertung

Der nächste Schritt des Verfahrens ist es die Risiken zu bewerten, die mit den identifizierten gefährlichen Ereignissen verbunden sind. Das Risiko wird als die Kombination von einer Folge (Schweregrad) und der Wahrscheinlichkeit (Häufigkeit) ihres Auftretens interpretiert. Eine Risikomatrix erlaubt die grafische Darstellung dieser Kombination (siehe Abbildung Abb. 4-4) *[Ref 21, Ref 27, Ref 28.* Es stellt eine einfache Methode dar, die Verbreitung von Risiken zu visualisieren, Gefahren zu untersuchen oder eine einfache Risikoanalyse durchzuführen. Der wesentliche Vorteil der Matrix ist seine einfache Darstellung der unterschiedlichen Risikoebenen und, dass ihre Verwendung es erlaubt auf zeitaufwendigere quantitative Analysen zu verzichten, wenn diese nicht gerechtfertigt sind.

Bei der Anwendung der Risikomatrix kann die in der vorangegangenen Stufe ermittelte Eintrittswahrscheinlichkeit und Schweregrad in mehrere Kategorien eingeteilt werden. Tabelle 4-1 und 4-2 schlagen eine Struktur vor, die verwendet werden kann. Eine Arbeitsgruppe, die eine Risikobewertung durchführt kann eine andere Einteilung vornehmen, z. B. mit mehr Kategorien. Jedoch sollte die gewählte Klassifizierung die Risikomatrix nicht übermäßig verkomplizieren *[Ref 28].*

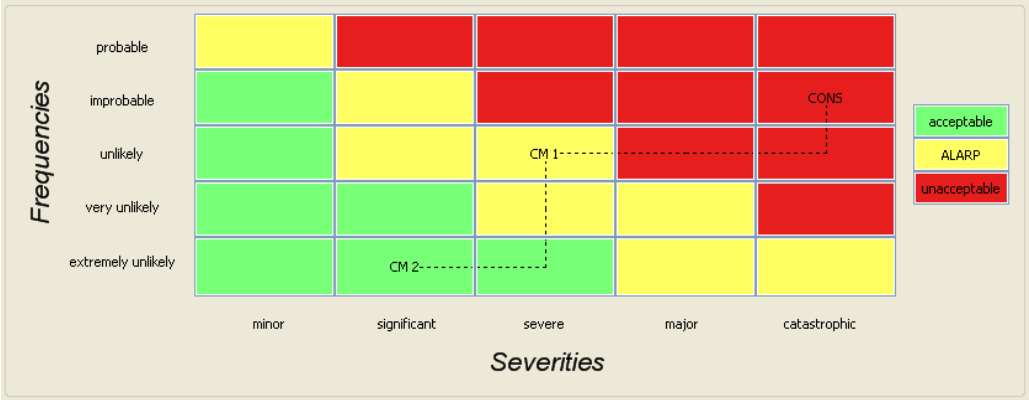


Abb. 4-4 Risikomatrix für die Karakterisierung and Visualisierung existierender und/oder verbleibender Risikopotentiale

Tabelle 4-1 Beispiel für die Risikokarakterisierung – Wahrscheinlichkeiten

Notation	Frequency range
Extremely unlikely	**<10^{-6} per year**
Very unlikely	**10^{-6} to 10^{-4} per year**
Unlikely	**10^{-4} to 10^{-2} per year**
Improbable	**10^{-2} to 1 per year**
Probable	**> 1 per year**

Tabelle 4- 2 Beispiel für die Risikokarakterisierung – Schweregrade

CONSEQUENCES					
Category	**minor**	**significant**	**servere**	**major**	**catastrophic**
Human beings	light injury	injury	severe injury	disablement, death	death
Environment	olfactory pollution, elevated emissions (short time)	long lasting olfactory pollution, slightly increased emissions	emission of toxic substances of little amounts	emission of toxic substances of amounts	emission of toxic substances of huge amounts
Property/goods	no plant shut down, online reparation possible, little costs	plant stop, warm start possible, standstill of the plant < 2 days	plant damage, cold start necessary, standstill of the plant 1 to 3 weeks	critical plant damage concerning the whole plant or plant sections, standstill of plant > 8 weeks	enormous plant destruction/damage concerning the whole plant

Die Risikomatrix ist in drei Bereiche unterteilt *[Ref 27]*:

- *Bereich der akzeptierbaren Risiken*

  Die Risiken, die diesem Bereich entsprechen, werden generell als insignifikant betrachtet und als angemessen unter Kontrolle angenommen. Die Höhe des Risikos, die diesen Bereich karakterisiert ist vergleichbar mit der, die

Menschen als insignifikant oder trivial für ihr eigenes tägliches Leben ansehen. Diese Art von Risiken geht typischerweise von Aktivitäten aus, die selbst nicht sehr gefährlich sind oder von gefährlichen Aktivitäten, die einfach zu kontrollieren sind, um so die Gehfahr gering zu halten. Weitere Anstrengungen zur Verringerung der Risiken bedarf es meist nicht.

- *ALARP Bereich (= engl. "as low as reasonably possible)"; Bereich der "so niedrig, wie vernünftigerweise praktikablen") Risiken*

  Risiken, die in diesen Bereich Fallen sind in der Regel solche, die Menschen bereit sind zu ertragen um sich Vorteile zu sichern, solange die Art und Höhe der Risiken auch genau abgeschätz wurden und wenn als Resultat einer Untersuchung geeignete Kontrolmaßnahmen festgelegt wurden. Wenn gefährliche Ereignisse dem ALARP Bereich entsprechen, bedeutet es nicht, dass das Gesamtrisiko der Anlage in diese Kategorie fällt. Es sollte aber in betracht gezogen werden, ob weitere Risikomindernde Maßnahmen notwendig sind.

  Für das verbleibende Risiko des ALARP Bereichs könnten weitere Sicherheitsmaßnahmen wirtschaftlich nicht gerechtfertigt und vertretbar sein. In allen Fällen muss das Risikobewertungssteam die folgende Punkte erörtern:

  - Ist das verbleibende Risiko akzeptabel?
  - Können zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden, um die Höhe des Risikos zu senken?

  Die Risiken, die dieser Kategorie entsprechen, sollten regelmäßig überprüft werden um sicher zu stellen, dass sie immer noch die ALARP-Bedingungen erfüllen.

- *Bereich der inakzeptabelen Risiken*

  Die Risiken dieser Region sind inakzeptabel und müssen durch geeignete Gegenmaßnahmen auf ein Niveau reduziert werden, die mindestens dem ALARP Bereich entspricht.

4.5 Maßnahmen zur Risikominderung

Ein inakzeptabeles Risiko macht die Anwendung von Maßnahmen zur Risikominderung erforderlich, die das Restrisiko in den ALARP Bereich der Risikomatrix hin verlagert. In der Praxis erreicht man dies durch die Verringerung der Häufigkeit und/ oder des Schweregrades eines gefährlichen Ereignisses oder einer Bedrohung.

Zu diesem Zweck kann ein Fliegen-Diagramm, wie in Abbildung 4-5 dargestellt verwendet werden. Die Spalte 'oberstes Ereignis' des Fliegen-Diagramms kennzeichnet die Störung der gerade untersuchten Funktion. Diese Technik ist flexibel. Somit lässt sich jedes Ereignis als 'oberstes Ereignis' einsetzen. Die Spalten zur linken und rechten Seite vom 'obersten Ereignis' enthalten die Auslöser und Konsequenzen eines 'obersten Ereignisses'. Das Diagramm kann bei der Entscheidung behilflich sein, was getan werden muss, um das Risiko auf ein akzeptabeles Niveau zu reduzieren. Dazu werden sogar 'Sicherheitsbalken' im Diagramm dargestellt (Abb. 4-5):

- Die 'Sicherheitsbalken' zwischen der Spalte 'gefährliches Ereignis' und die Spalte 'oberstes Ereignis' entsprechen *vorbeugenden Maßnahmen,* die zur Minderung der Häufigkeit des Auftretens des gewählten 'obersten Ereignisses' führen.

- Die ‘Sicherheitsbalken‘ zwischen dem ‘obersten Ereignis‘ und der Spalte ‘Konsequenzen’ enthält *mindernde Maßnahmen,* die zur Minderung des Schweregrades der Folgen eines gefährlichen Ereignisses und/ oder die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens führen.

Gegenmaßnahmen unterschiedlicher Art können eingeleitet werden durch:

- *Technische Gegenmaßnahmen:* Die Durchführung von technischen Veränderungen, z. B. im Prozess-Design, und das Hinzufügen oder Austauschen einiger Glieder der Prozesskette, etc.
- *Gegenmaßnahmen in der Fertigungskontrolle:* Diese beziehen sich auf jegliche Änderung der Routinen des Steurungssystems. Dies kann durch Hinzufügen von neuen Steuerungsgeräten in der Prozesskette geschehen (z. B. Temperatursensoren, Druckmeßgeräten, CO Sensoren, etc.), die mit geeigneten Alarmsystemen ausgestattet sind. Mit der Einführung neuer Steuerungsgeräte muss die Einrichtung eines geeigneten Systems für Notfallmanagement einhergehen.
- *Organisatorische Gegenmaßnahmen:* Diese betreffen sämtliche Aktivitäten, die in Zusammenhang mit der Arbeitsorganisation stehen.

Alle Gegenmaßnahmen müssen in der Betriebsanleitung dokumentiert sein. Aus diesem Grund ist das Verfahren zur Risikobewertung kein direkter Prozess [22]. In der Tat kann die Umsetzung von Gegenmaßnahmen das ursprüngliche Verfahren verändern. Es können neue gefährliche Ereignisse entstehen. Eine Neubewertung der Risiken für das veränderte Verfahren kann notwendig sein.

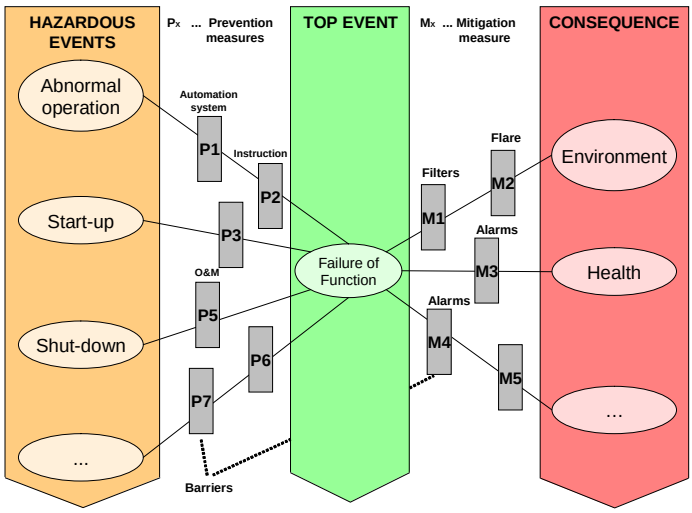


Abb. 4-5 Fliegen-Diagramm für die Risikobewertung

4.6 Dokumentierung der Ergebnisse einer Risikobewertung

Die Dokumentation der Ergebnisse einer Risikobewertung und die entsprechenden Maßnahmen zur Risikominderung sind unerläßlich für die Rückverfolgbarkeit. Dies wird in aller Regel in Form einer Tabelle mit strukturierten Listen der Ereignisse und die zugehörigen Konsequenzen dargestellt. Eine derartige Methode kann mit Hilfe von Computer-Software realisiert werden, was erheblich dabei helfen kann, die Dokumentation zu strukturieren und Querverweise zu wiederkehrenden Ereignissen und ihre Folgen zu erstellen.

4.7 Software Tool für die Risikobewertung

Ein Software-Tool (RISK ANALYSER genannt) ist entwickelt worden, um die Durchführung der Risikobewertung, die in diesem Leitfaden vorgeschlagen wird zu vereinfachen. Die HSE Belange von kleinen Biomassevergasungsanlagen können auf sehr strukturierte Art und Weise behandelt werden, wenn die Beurteilung mithilfe eines Software-Tools durchgeführt wird. Die Zielgruppen des Software-Tools sind in erster Linie die Hersteller, Projektentwickler, Betreiber, Forscher, und Implementoren von Biomassevergasungsanlagen. Die Software kann auch bei anderen Verfahrensarten außer Biomassevergasung angewendet werden.
Durch die Software wird ein empfehlenswertes Verfahren zur Risikobewertung umgesetzt, das sich für die Anwendung in kleinen Biomassevergasungsanlagen eignet und ausreichend ist. Die ausgewählte Methode, die vorhin vorgestellt wurde, basiert auf einer HAZOP Studie und wurde um bestimmte Merkmale erweitert, die speziell auf Biomassevergasungsanlagen zutreffen.
Das Verfahren zur Risikobewertung mithilfe des Software-Tools geht in folgenden Schritten vor:

1. *Grunddaten der Anlage definieren*
   Die grundlegenden Informationen der untersuchten Anlage sind bekannt (Name des Projekts, Anlagenhersteller, Betreiber, Leistung der Anlage, etc.)
2. *Prozesseinheiten definieren*
   Die Anlage wird in Prozesseinheiten unterteilt, die im allgemeinen den einzelnen Prozessschritten entsprechen – z. B. Vergaser, Gaskühlung, Gasreinigung, Gasaufbereitung und Gasnutzung.
3. *Funktionen definieren*
   Die Funktionen der einzelnen Prozesseinheiten müssen definiert werden (z. B. die Brennstoffversorgung für den Vergaserabschnitt). Sie stellen die Ausgangsdaten für die Risikobewertung dar.
4. *Betriebsarten definieren*
   In diesem Schritt wird eine kurze Beschreibung der vorgesehenen Betriebsarten verlangt (Ein- und Ausschalten, im normalen Betrieb und beim Notaus). Dies wird dabei helfen die speziellen Gefahren in den verschiedenen Betriebsarten zu identifizieren.
5. *Programmodule definieren*
   Die Funktionen werden durch dedizierte Programmodule erfüllt, die definiert werden müssen. Dies erfordert Informationen über:
   - Entwurfsparameter (Druck, Temperatur, Fliessgeschwindigkeiten, etc. für alle Betriebsbedingungen sowie ihre Minimal- und Maximalwerte);
   - Informationen über Betriebsmittel und Zusatzstoffe (Sicherheitseigenschaften, Temperaturen und Drucke der verwendeten Mittel, etc.);
   - Textfeld für zusätzliche Informationen, falls erforderlich (optional).

   Diese umfassende Dokumentation der Informationen dürfte alle notwendige Grundlagen für die weitere Risikobewertung bereitstellen.
6. *Risikobewertung*
   Das Programm unterstützt die Risikobewertung mit Voreinstellungen von möglichen Ereignissen und Folgen. Durch die Software erfolgt eine Einstufung des Risikopotentials gemäß der vorgeschlagenen Risikomatrix.
   Wichtiger Hinweis: bei dieser ersten Risikobewertung wird das ursprüngliche Anlagen- und Betriebskonzept untersucht. Gegenmaßnahmen zur Risikominderung kommen erst im nächsten Schritt hinzu.
7. *Gegenmaßnahmen*

Das Festlegen von Gegenmaßnahmen wird durch das Software-Tool unterstützt und die Möglichkeit einer Neubewertung der revidierten Prozesskonfigurationen gegeben. Die Beschreibung von Gegenmaßnahmen erlaubt ihre Einteilung in Kategorien (technische, prozesssteuerungs und organisatorische Gegenmaßnahmen). Eine Bearbeitung des Betriebsverfahrens ist möglich. Automatisierte Maßnahmen durch die Systemsteuerung können für jede Betriebsart dokumentiert werden.

8. *Zusammenfassung*

   Die Zusammenfassung ist der abschliessende Schritt. Es gibt einen Überblick über das ursprüngliche Anlagenkonzept (vor der Anwendung von Gegenmaßnahmen), über seine Funktionen und Betriebsteile. Die Ergebnisse der Risikobewertung wird für jede untersuchte Prozessfunktion dokumentiert einschliesslich der durch Gegenmaßnahmen eingetretenen Verbesserungen.

Im Anschluss an die Risikobewertung des Gesamtprozesses kann ein Bericht erstellt werden. Dieser kann als Dokumentation der Risikoanalyse verwendet werden.

5 Potentielle Gefahrenquellen und der Stand der Technik in der Praxis

5.1 Einleitung

Dieses Kapitel beschreibt kurz die potentielle Gefahren, die mit der Gestaltung, dem Betrieb und der Wartung von Biomassevergasungsanlagen (BGPs) verbunden sind. Es ist eine notwendige Voraussetzung für den gesamten Vorgang der Risikobewertung, erst die Gefahren zu analysieren. Dann geht man dazu über, die daraus resultierende Risiken zu bewerten und zu bestimmen, welche Verbesserungsmaßnahmen angewendet werden sollen.

Es gehört zur guten Praxis, eine Vielzahl von technischen Grundsätzen anzuwenden und sie bei der Gestaltung einer Anlage hierarchisch für das Risikomanagement anzuwenden. Eine Gefahrenquelle zu beseitigen hat Vorrang über die Kontrolle des daraus resultierenden Risikos. Das Kontrollieren des entstehenden Risikos geht vor der Bereitstellung von Vorrichtungen zum Schutz von Mitarbeitern.

Ein ganzheitlicher Ansatz ist hier wichtig, damit die Maßnahmen die zur Risikominderung bei einer Gefahr dienen, nicht das Gesamtrisiko aufgrund des Vorhandenseins von weiteren Gefahren unverhältnismäßig erhöhen oder die verbundenen Maßnahmen zur Risikokontrolle beeinträchtigen. Wenn angebracht, sollte das Gleichgewicht zwischen dem Risiko für Mitarbeiter und dem Risiko für die Öffentlichkeit berücksichtigt werden, sowie das erhöhte Risiko aufgrund von Maßnahmen, die während des normalen Betriebs ergriffen werden, um Risiken in einer Notsituation zu verringern.

Im Leitfaden “Guidance on ‘as low as reasonably practicable’ (ALARP) decisions in control of major accident hazards (COMAH)”, wurden die folgenden drei wichtigen Prinzipien definiert *[ref. 27]*:

1. Prinzip

"HSE geht von der Erwartungshaltung aus, dass geeignete Kontrollmaßnahmen in Kraft sind, um allen bedeutenden Gefahren gerecht zu werden und, dass sie mindestens gute behördliche Praktiken einhalten müssen, unabhängig von situationsbedingten Risikoeinschätzungen.

2. Prinzip

"Die Zone, die zwischen den Bereichen der inakzeptabelen und den weitestgehend akzeptierbaren Risiken ist der tolerierbare Bereich. Risiken diesen Bereiches sind typischerweise Risiken, die Menschen bereit sind auf sich zu nehmen, um sich Vorteile zu sichern mit der Erwartung verknüfpt, dass:

- Die Art und das Ausmaß der Risiken richtig bewertet wurden und die Ergebnisse genau zur Ermittlung von Kontrollmaßnahmen verwendet wurden;
- Das Restrisiko nicht unnötig hoch ist und so niedrig gehalten wird, wie es vernünftigerweise praktikabel ist (das ALARP Prinzip); und
- Die Risiken periodisch überprüft werden, um zu gewährleisten, dass sie den ALARP Kriterien gerecht werden. Dies wird beispielsweise vorgenommen, um festzustellen, ob weitere oder neue Kontrollmaßnahmen eingeführt werden müssen, um Veränderungen, die mit der Zeit vorkommen gerecht zu werden,

wie z. B. neue Kenntnisse hinsichtlich eines Risikos oder die Verfügbarkeit von neuen Techniken zur Minderung oder Vermeidung von Risiken.

3. Prinzip

“Sowohl die Höhe der einzelnen Risiken als auch die Bedenklichkeit für die Gesellschaft hinsichtlich des Projekts bzw. des Verfahrens müssen bei der Entscheidung, ob ein Risiko akzeptabel, tolerierbar oder weitestgehend tolerierbar ist in Betracht gezogen werden. Gefahren, die individuelle Risiken bewirken gehen auch mit gesellschaftlichen Bedenken einher, die oft eine weitaus größere Rolle bei der Entscheidung spielen, ob ein Risiko akzeptierbar ist oder nicht."

5.2 Die wichtigsten Sicherheitsbetrachtungen

Berufsbedingte Gefahren hängen mit den Gefahren und Risiken zusammen, die mit bestimmten Berufen oder Arbeitsumfeldern einhergehen. Berufsbezogene Gesundheits- und Sicherheitsbelange sollten als Teil einer umfassenden Gefahren- oder Risikobewertung verstanden werden, die beispielsweise eine Gefahrenidentifizierungs- (HAZID), Gefahren- und Bedienbarkeitsstudie (HAZOP), oder andere Risikobewertungsstudien beinhaltet. BGPs weisen viele berufsbedingte Gefahren unterschiedlicher Art auf, wie z. B. physische, chemische, biologische, Umweltgefahren, mechanische, psychosoziale, etc. Die meisten der Gefahren sind nicht BGP spezifisch, z. B. Rutschgefahr oder das Stolpern, Zusammenstöße, tiefe Stürze, Verletzung durch Gegenstände, Transporte am Arbeitsplatz, Strom, Lärm, Vibrationen, Beleuchtung, Druckluft/ Flüssigkeiten unter hohem Druck, beengtem Raum, Kältestress, Hitzestress, Quetschungen, Schnittverletzungen, Abschürfungen, Fahrzeugbewegung, Aufpralle, bewegliche Teile, arbeitsbedingter Stress, etc.

Anlagenbetreiber müssen über diese verschiedene Arten von Berufsrisiken, sowie über die entsprechenden nationalen Vorschriften und geeignete Maßnahmen bewußt sein und ihre Vermeidung und Minderung einleiten.

Die “Health and Safety Executive” (UK) stellt auf ihre Webseite (**www.hse.gov.uk/**) eine Liste mit möglichen Gefahren bereit, die bei einer Arbeitsstätte berücksichtigt werden müssen. Eine Anleitung, wie man diese Gefahren handhaben und vorbeugen kann, ist auch vorhanden..

Das zuständige französische Institut zur Vermeidung von Berufsrisiken (INRS) bietet ebenfalls eine Anleitung auf den verschiedenen Gebieten der Berufsrisikovermeidung die auf der folgenden Webseite zu finden ist (Dokumente auf Französisch):

www.inrs.fr/htm/frame_constr.html?frame=/INRS-PUB/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/ED%20840/$File/Visu.html

Eine Ähnliche Anleitung auf Deutsch ("Ratgeber zur Ermittlung gefährdungsbezogener Arbeitsschutzmaßnahmen im Betrieb") ist auf der Webseite des Bundesanstalts für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) erhältlich: **http://www.baua.de/nn_12456/de/Publikationen/Sonderschriften/2000-/S42.html?__nnn=true**

Jede Aktivität bei der Arbeit kann irgendeine Form von eigenen und besonderen Berufsrisiken mit sich bringen. Dieses Kapitel hebt die besonderen Gefahren beim Vergasungsverfahren hervor, wie: Feuer, Explosion/Verpuffung, toxische Stoffe, etc.

Das Hauptaugenmerk dieses Kapitels wird es sein Maßnahmen aufzuzeigen, die als Sicherheitsvorkehrung ergriffen werden müssen. Diese Maßnahmen basieren auf dem vorhandenen Fachwissen innerhalb des Konsortiums, die Mitwirkung externer Berater, dem gesunden Menschenverstand und Informationen, die in Fallstudien gesammelt wurden. Wie im Kapitel 1 bereits angesprochen, können manche Zielgruppen Interessenkonflikte haben, wie z. B. der Endverbraucher gegenüber der Zulassungsbehörde oder der Hersteller gegenüber dem Anlagenbesitzer. Deshalb ist es notwendig, eine möglichst vollständige Übersicht über alle HSE Fragen zu haben und dem internationalen Stand der Technik entsprechend zu handeln.

5.3 Der Stand der Technik in Bezug auf Anlagendesign und Betrieb

Eine dem Stand der Technik entsprechende Entwicklung und Konstruktion einer Anlage, der eine ordentliche Risikobewertung und/ oder HAZID/HAZOP Studie zugrunde liegen muss, ist zwingend erforderlich, um ein BGP auf dem Markt zu bringen. Die meisten Risikobewertungen bieten einen allgemeinen Überblick und haben keinen Anspruch auf absolute Vollständigkeit. Dies kann zu Haftbarkeitsfragen führen und ein falsches Gefühl von Sicherheit vermitteln. Die folgende Abschnitte geben eine allgemeine Übersicht über den Stand der Technik in Bezug auf die Möglichkeiten der Ingenieure. Diese müssen aber nicht zwingend auf jeden Typus Vergaser zutreffen, z.B. sind die Sicherheitsbelange unterschiedlich, je nachdem, ob ein Vergaser bei Über- oder Unterdruck arbeitet, etc.

5.3.1 Der Stand der Technik bei der Konstruktion einer Anlage

Beim Entwurf der Gebäude einer Vergasunganlage sollten einige Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltkriterien berücksichtigt werden, wie z.B:

- Das Brennstofflager sollte von der Vergaserhülle räumlich getrennt sein oder durch eine hochleistungs Feuerschutzvorhang von ihr getrennt sein.
- Aus Sicherheitsgründen sollten Steuerungs- oder Aufenthaltsräume wegen Gefahren wie Feuer, Explosionen, oder toxischen Gasen von der übrigen Anlage getrennt sein
- Die Steuerungsräume sollten mit Überdruck belüftet werden (natürlich darauf achten, wo die Luft entnommen wird)
- Für ausreichende Belüftung der Vergaserhülle sollte gesorgt sein und der Durchfluss sollte in kritischen Bereichen der Anlage überwacht und überprüft werden.
- Zwei Notausgänge nach draußen sollten von jedem Raum der Anlage vorhanden sein
- Die ATEX Richtlinie verlangt, dass alle Bereiche, die als gefährlich eingestuft werden mit einem Warnschild gekennzeichnet werden. Das Schild muss dreieckig sein und mit schwarzer Schrift auf gelbem Hintergrund muss in Großbuchstaben EX geschrieben stehen, um vor den Zutritt zu Bereichen mit explosionsfähiger Atmosphäre zu warnen. Es wird empfohlen Bereiche zu identifizieren, die für diese Kontrollmaßnahme in Frage kommen.

- Anlagenteile die einen bestimmten Lärmpegel überschreiten wie der Kompressor oder der Gasmotor sollten in separaten akustisch isolierten Räumen untergebracht sein.

5.3.2 Gute technische Praxis und die Wahl der Anlagenkomponenten

Für “Good Engineering Practice” (GEP) in Bezug auf alle Komponenten der Anlage ist der Hersteller verantwortlich. Wenn die Anlage ordentlich und gemäß der EG-Maschinenrichtlinie entworfen und gebaut wurde, sollten alle wesentlichen Gefahrenquellen beseitigt worden sein.

Die Wahl des Materials

- Reaktor, Behälter, Ventile, und Rohrleitungsmaterial sollten aus hochqualitativen Materialen sein;
- Für den Vergaser und die Gaskühlung sollte hitzeresistenter rostfreier Stahl oder vergleichbares angemessenes Material verwendet werden;
- Chemisch beständiger rostfreier Stahl wird für den Bereich der Gasreinigung und die Leitungen und Behälter für Waschlösungen empfohlen.

Gasdichtheit

Gasdichtheit ist wichtig, um das Entweichen von Gasen und das Einströmen von Luft zu verhindern. Sonst kann es zu Entstehung von explosionsfähigen Gemischen und/oder dem Entweichen von toxischen Gasen führen. Die folgenden technischen Methoden sind geeignet um Gasdichtheit zu gewährleisten:

- Das Schweißen von allen Rohren, vorallem solche, die über 500°C erhitzt werden könnten, ist dem Gebrauch von Flanschen vorzuziehen. In allen Fällen müssen geeignete Flanschen aus thermisch und chemisch beständigem Material verwendet werden;
- Alle Rohre, Aggregate, Messgeräte und Verbindungsstücke müssen aus geeignetem Material sein;
- Geeignetes Material sollte verwendet werden unter Berücksichtigung von verschiedenen Parameter, wie chemische Beständigkeit, Temperatur, Druck, Korrosion, und Teilchengröße.

Ventile

- Sämtliche Lufteinlässe und Gasausgänge zum Vergaser hin oder vom Vergaser weg, dem Materialzufuhrbereich, Gasfackel und Gasmotor eingeschlossen, sollten mit doppelten Sperren oder Ventilen versehen werden (nacheinander in einer Reihe) um Fehlzündungen vorzubeugen;
- Wenn Ventile in Kontakt mit Pyrolyse- oder Vergasergas kommen, können sie verkleben;
- Ventile die den Sicherheitsmodus beim Notaus gewährleisten, müssen störungssicher sein.;
- Ventile an Luftrohren, Filtern und Zyklonen sollten Mikroschalter für die Position aufweisen;
- Es sollte unmöglich gemacht werden manuell einstellbare Ventile falsch einzustellen. Störungen bei kritischen Ventilen sollten registiert werden.

Elektrische Geräte

- Es wird empfohlen, alle gasleitenden Teile zu erden.
- Die programmierbare Steuerung sollte geerdet sein um Störungen zu vermeiden.
- Die Meßtechnik sollte eigensicher sein. Messgeräte sind galvanisch zu trennen.
- Programmierbare Steuerungen müssen mit einer unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) ausgestattet sein.
- Wichtige Messpunkte im Anlagenbetrieb (kritische Temperatur- und Drucküberwachung, etc.) sollten für Notfälle oder, falls die Hauptsteuerung ausfällt, mit einem redundanten Messsystem erfasst werden.
- Die Gas-/ Luftzufuhr des Motors muss geerdet sein. Es müssen geschützte Leitungen eingesetzt werden um Stromausfälle zu vermeiden, die Fehlzündungen hevorrufen könnten.
- In Anlageteilen in denen Gas / Luftgemische vorkommen, sollte die Instrumentation und Elektrik Zone 1 entsprechen, andernfalls müssen die Teile gesichert werden. Im Vergaser selbst sollten die Teile Zone 2 entsprechen. Es wird sehr empfohlen für jeden Bereich eine entsprechende Zonenklassifizierung vorzunehmen, da dieser sehr von der Belüftung der Anlage abhängt und viele Anlagen für offenes Gelände entworfen wurden. Hauptschalter und Notaus-Taster sollten an allen:
    - rotierenden Teilen;
    - Schalttafeln und Steuerpulten;
    - Druckablassvorrichtungen;
    - kritischen Ventilen, die an gasführende Teile angeschlossen sind sowie an der Materialzufuhr, Zyklonen und Ascheaustrag vorhanden sein.
- Notaus-Schalter sollten für ganze Bereiche verwendet werden.

Steuerung und Sicherheitsausrüstung

- Es wird empfohlen Gasdetektoren in Räumen anzubringen die Komponenten mit Pyrolyse- oder Vergasergase enthalten. Bei 25/ 50 ppm CO sollte der Alarm ausgelöst werden.
- Im Sicherheitskonzept vorgesehene Druck- und Temperatursensoren sollten zwei oder dreifach vorhanden sein. Die Ausfallwahrscheinlichkeit in Bezug auf den besonderen Einfluss des Betriebs und der Installation muss geschätzt werden.
- Gas/Luft-Wärmeaustauscher stellen eine mögliche Gefahrenquelle dar wenn Undichtheiten in den Leitungen durch thermische Spannungen oder Korrosion entstehen. Gefahren, die aus dieser Art der Funktionsstörung resultieren, sollten durch qualitativ hochwertige Technik vermieden werden sowie durch das

Anbringen von Temperatur- und Sauerstoffsensoren, die man entlang der Anlage anbringt, kontrolliert werden. Dadurch werden entstehende Leckagen angezeigt.
- Alle Sicherheitseinstellungen sollten im Handbuch vor dem Einschalten der Anlage spezifiziert werden.
- Thermoelemente sollten vor und nach den Hauptkomponenten der Anlage installiert werden. Bevorzugte und erlaubte Betriebstemperaturen sollten im Handbuch der Anlage für Mitarbeiter nachlesbar sein und durch exakte Alarmwerte gesichert sein.

Bewegliche oder rotierende Teile
- Bewegliche Teile, wie Förderbänder und Motoren, können das Risiko einer Gasexplosion erhöhen und sollten durch perforierte Platten abgegrenzt sein, gut sichtbare Schilder tragen und einen Notaus haben.
- Im Standby sollte das Gasgebläse und andere drehende Teile in der Produktgasleitung vor Korrosion geschützt werden, ansonsten kann dies zum Ausfall führen.

Heiße Flächen
- Heiße Flächen können an vielen Anlageteilen auftreten. Diese können das Risiko einer Gas-oder Staubexplosion sowie das Risiko von Kontaktverletzungen bei Betriebsangehörigen erhöhen. Anlagenteile, die ein Berufsrisiko aufgrund von hohen Temperaturen darstellen, sollten angemessen identifiziert werden und mit Schutzblechen in Form von perforierten Platten versehen werden, um die Risiken zu verringern.
- Mitarbeiter sollten hinsichtlich der mit heißen Flächen verbundenen Gefahren und der Verwendung von Schutzkleidung (wie Handschuhe, isolierte Kleidung, etc.) geschult werden.

Das Gasfackelsystem
- Die Gasfackel o.ä. wird zum Abfackeln von Gas minderer Qualität, das nicht im Gasmotor verbrannt werden soll oder bei Fehlzündung eingesetzt.
- Im Falle, dass Ventile durch den Kontakt mit Pyrolsyse- oder Vergasergas festkleben sollte das Gas automatisch abgefackelt werden.
- Zum Reinigen des Leitungssystems zwischen Vergaser und Verbrennungsmotor muß dieses entleert werden. Beim Wiederanfahren der Anlage durchläuft das Gasgemisch in den Rohren immer den Bereich zwischen UEG und OEG.
- Das Gasfackelsystem sollte ausgestattet sein mit:
    - einer automatischen Zündung;
    - einem Flammenwächter;
    - und einem Wassertopf.

Es wird empfohlen eine HAZOP Studie durchzuführen, die adäquate Maßnahmen aufzeigt, die im Bereich des Gasfackelsystems angewendet werden müssen, wie z. B. Spülung mit Inertgas.

Sicherheitsausrüstung
Folgende Sicherheitsausrüstung oder Werkzeuge sollten in jedem Teil oder Gebäude der Vergasungsanlage vorhanden sein:
- Ausrüstung zur Branderkennung und Feuerbekämpfung (Rauchmelder, Feuerlöschschlauch), die die internationalen technischen Vorgaben erfüllt hinsichtlich der Art und Menge der auf dem Gelände vorhandenen entzündbaren und brennbaren Stoffe;

- CO Detektoren;
- Ausrüstung für die Feuerbekämpfung (Feuerlöscher, Feuerdecken);
- Sicherheitskleidung und Ausrüstung zum persönlichen Schutz: Gehörschutz, Schutzbrillen, Handschuhe, Atmungshilfen, tragbare CO Meßgeräte;
- Notduschen, Erste-Hilfe Kästen

5.3.3 Empfehlungen für Betriebsabläufe und Überwachung

Wichtige Betriebsabläufe die untersucht werden müssen, sind das Einschalten der Anlage (heißer/ kalter Start), der normale Betrieb, das normale Abschalten der Anlage, und das Ausschalten im Notfall (Notaus). Die Beschreibung dieser Vorgänge und ihre Rolle bei der Ermittlung (HAZOP Studie) von HSE Risiken sollte im Betriebshandbuch, der vom Hersteller mitgeliefert wird enthalten sein.
Es wird empfohlen für die gesamte Vergasungsanlage Routinen zu implementieren (das Vorheizen, Zündung des Vergasers, den normalen Betrieb, etc.), die beim Einschalten, beim normalen Betrieb und beim Abschalten der Anlage eingehalten werden müssen. Dies wird menschlichen Fehlern vorbeugen. Fehlersichere Routinen müssen ein Teil des Bedienungskonzepts sein.

Normale Abläufe beim Ein- und Ausschalten der Anlage

- Beim Einschalten wird es empfohlen vorhandenen Sauerstoff durch Inertisierung der Anlage beispielsweise mit Stickstoff zu entfernen.
- Erfahrungsgemäß passieren die meisten Unfälle beim Einschalten oder Ausschalten der Anlage. Darum sollten sich Mitarbeiter während dieser Zeiten nicht unnötig nahe an Systemkomponenten mit entzündlichen Materialen (Vergaser, Zyklonbehälter, Filter, etc.) aufhalten.
- Beim Einschalten der Anlage und beim Ausschalten im Notfall oder wenn Ventile stecken bleiben, muss das Gas abgefackelt werden.
- Wenn der Motor aus irgendeinem Grund stehen bleibt, sollte das vorhandene Gas vom Steuerungssystem zum abfackeln geleitet werden. Wenn der Motor nicht gestartet werden kann sollte das Notaus eingeleitet werden.

Normale Betriebsabläufe

- Wie man vorgeht wenn während dem Betrieb manuell eingegriffen werden muss, sollte in der Betriebsanleitung ausführlich dargestellt werden.

Vorgehen beim Notaus

- Beim entwickeln des Betriebshandbuchs und des zugehörigen Überwachungs-, Steuerungs- und Datenerfassungssystems (ÜSE) müssen die bei den HAZOP und HAZID Analysen angezeigten Folgen des Ausschaltens im Notfall berücksichtigt werden. Das Vorgehen beim Notaus ist daher jedes mal der jeweiligen Anwendung sehr spezifisch anzupassen.
- Typische Maßnahmen für das Ausschalten im Notfall sind:
    - Materialzufuhr zum Vergaser unterbrechen;
    - Unterbrechung des Luftzufuhrs zum Vergaser;
    - Gas zum abfackeln leiten;
    - Bemerkung: das Fluten des Vergasers mit Inertgas (Stickstoff) ist hier nicht effektiv weil der Vergaser im normal Fall eine Menge Treibstoff und Kohle enthält.

- Es müssen Vorschriften für das Verhalten im Falle einer Evakuierung vorliegen.
- Geeignete Schulungen für Betriebsangehörige und Besucher müssten beim Eintritt in die Anlage vorgenommen werden.

Wartung der Anlage

- Sensoren sollten regelmäßig nach einem erstellten Zeitplan auf Genauigkeit geprüft werden, z.B. Drucktransmitter die mit Teer oder Staub verstopft sind können den Sensoren fehlerhafte Messdaten liefern. Es sollten Verfahren zur Überprüfung der Sensorik verfügbar sein.
- Mitarbeiter sollten bei Wartung der Anlage den Kontakt mit und das inhalieren von toxischen Gasen oder Flüssigkeiten vermeiden. Dies würde die meisten Unfälle, die während der Wartung passieren können verhindern. Alle Wartungsprozeduren sollten genau dokumentiert sein und für ordentliche Betriebsführung sollte Sorgen getragen werden.

5.3.4 Zusatzmaßnahmen

Die folgenden ergänzenden Maßnahmen sollten zusätzlich ergriffen werden:

- Die Kondensation von teerigen Verbindungen und Wasserdampf in Gasrohren, Reaktorbehältern und Ventilen sollte durch die Kenntnis der Wirkung von Temperatur und Druck auf die Kondensation von gasförmigen Komponenten vermieden werden.
- Im Brennstoff - Luft Gemisch vor dem Gasmotor kann es zu Kondensation kommen wenn die Temperatur außen niedrig oder die Luft sehr feucht ist. Das Kondensat kann Klopfen verursachen, wodurch der Motor beschädigt wird. Es empfiehlt sich die Temperatur zu kontrollieren, wenn nötig das Gas vor Eintritt in den Motor zu erhitzen und ferner die Feuchtigkeit des Gases vor der Eintrittsstelle in den Mixer zu kontrollieren. Bei modernen Motoren mit elektronische Steuerung ist dies weniger relevant.
- Anlagenkomponenten sollten so beschaffen sein, dass sie sowohl Über- als auch Unterdruck standhalten. Nach Abschaltung der Anlage kann sich ein Vakuum entwickeln.

5.4 Sicherheitsanliegen aus der Praxis

Viele gefährliche Ereignisse können auftreten mit verschiedene Konsequenzen. Annex A zeigt eine Checkliste. Die kritischsten Sicherheitsbelange während des Betriebs oder der Wartung von Vergasungsanlagen umfassen:

- Erstickungsgefahr/ Toxizitätsbelange, wie das unvorhergesehene Entweichen von potentiell gefährlichen Rohgasbestandteilen (Gase und Flüssigkeiten);
- Explosions- und Verpuffungsgefahren;
- Brandgefahr;
- Bedienungsfehler.

In den nächsten Abschnitten wird eine Beschreibung für die einzelnen Sicherheitsanliegen wie folgt gegeben:

- Wann und wo man diese Belange beachten muss;
- Potentielle Auswirkungen dieser Belange, und
- Mögliche, dem Stand der Technik entsprechende Verbesserungen.

5.4.1 Explosion / Verpuffung

Wann:

- Gasexplosionen im BGPs können auftreten wenn ein Gemisch aus brennbaren Gasen (hauptsächtlich CO, H_2 und höhere Kohlenwasserstoffe) und Sauerstoff, innerhalb seiner Explosionsgrenzen, zusammen mit einer Zündquelle vorhanden sind.
- Eine Vergasungsanlage durchläuft routinemäßig die untere Explosionsgrenze (LEL) und obere Explosionsgrenze (UEL). Die Sauerstoffkonzentrationsgrenze hängt von der Zusammensetzung des Produktgases ab, von der Feuchtigkeit, der Temperatur und dem Druck. Besonders gefährliche Situationen können beim Hoch- und Herunterfahren der Anlage sowie in Notsituationen, bei unkontrolliertem Lufteintritt (z. B. aufgrund undichter Stellen) entstehen. Für ein Gemisch aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid liegt die begrenzende Sauerstoff Konzentration bei Zimmertemperatur und Normaldruck bei ungefähr 4%.
- Eine explosionsfähige Dunstwolke kann sich bilden wenn entzündliche Flüssigkeiten auslaufen. Ihre Entstehung hängt dabei von der Flüchtigkeit, dem Flammpunkt, und vom Dampfdruck der Flüssigkiet ab.
- Staubexplosionen von kleinen Biomasse- und Kohlepartikel können sich in BGPs ereignen, wenn ein Gemisch aus Staub und Luft in der richtigen Konzentration auf eine Zündquelle trifft.
- Besondere Aufmerksamkeit sollte man Hybridgemische widmen, bei denen eine Kombination aus einem brennbaren Gas und Staub vorliegt.
- Zündquellen können Funken bei elektrostatischen Entladungen, glühenden Partikeln (Kohle, unvollständig verbrannte Biomasse), Blitzeinschlägen, mechanischen Funken, (z. B. von einem Elektromotor bei einem Gebläse), hitzeerzeugende Arbeiten (Schweissen, Schneiden, Schleifen, Sägen), heisse Flächen, Selbstzündung ion Staubschichten und offenen Flammen.
- Oberhalb der Temperaturen 600-650°C findet beim Nutzgas Selbstentzündung statt. Sobald eine kleine Menge Luft bei dieser hohen Temperatur zugeführt wird – oder umgekehrt – findet lokal an der Luft / Gas Schnittstelle eine normale Verbrennung statt. Wenn Gas und Luft ohne sofortige Reaktion vermischt werden und anschließend durch eine externe Zündquelle wie einen Funken oder ein glühendes Partikel entzündet werden, kann eine Gasexplosion stattfinden. Die Reaktonsgeschwindigkeit und das Druckmaximum hängen dabei vom Ausmaß vorhandener Turbulenzen und der Volumensbegrenzung des Gasgemischs ab.

Wo:

- In Bereichen der Anlage, wo eine Druckzunahme stattfindet (z.B. nach einem Gebläse) besteht das Risiko, dass Gas in die Atmosphäre entweicht. Hier findet die Explosion außerhalb der entsprechenden Anlagekomponenten statt. Ähnlich verhält es sich bei Unterdruck. Hier besteht das Risko, dass Luft eintritt und sich eine Explosion innerhalb einer bestimmten Anlagenkomponente ereignet.
- Rückwärts fließendes Generatorgas ist eine potentielle Gefahr, wenn die Ventile nicht orndungsgemäß funktionieren.
- Obwohl der Vergaser bei unterstöchiometrischen Bedingungen betrieben wird, können lokal höhere Sauerstoff Konzentrationen auftreten. Dies kann zu einem rapiden Temperaturanstieg führen und explosive Gemische erzeugen. Jedoch

vermindert sich bei hohen Temperaturen der maximale Explosionsdruck und eine klassische Verpuffung tritt auf.
- Im Bereich der Gasreinigung können Explosionen aufgrund des großen Gasvolumens heftig sein. In den meisten Fällen sind die Zündquellen brennende Kohlenstücke oder Asche, die mit dem Rohgas eingetragen wurden.
- Fehlzündungen an der Gasfackel können dazu führen, dass die Flamme zurück in den Bereich der Gasreinigung schlägt.
- In der Gaszufuhr zum Motor kann es bei Fehlzündungen des Motors ebenfalls zu Explosionen kommen.
- Im Bereich des Ascheaustrags wenn kohlenstoffreiche Asche erzeugt wurde;
- Bei Reparaturen, vorallem wenn bei Schweißarbeiten noch Gas im System vorhanden ist.
- Im Bereich der Materialzufuhr, überall dort wo große Mengen Staub entstehen können, kann es in Abhängigkeit von der verarbeiteten Biomasse und der Größe der Brennstoffpartikel bei der Bildung von Staubwolken zur Explosion kommen.
- Besonderer Beachtung sollte die Lagerung und Zuleitung von Zusatzstoffen wie z.B. Erdgas oder Propangas gegeben werden, da diese unter erhöhtem Druck gelagert werden und das Risiko von Leckagen besteht.

Was Passiert:
- In den meisten Fällen tritt eine schwächere Explosion, eine sogenannte Verpuffung auf. Diese wird durch instabilen Betrieb verursacht, durch den für kurze Zeit lokal ein explosives Gemisch entstanden ist.
- Aus der Theorie und Praxis ist bekannt, daß der Explosionsdruck im System von der Zusammensetzung des Produktgases abhängt sowie von der Temperatur, die sich bei der Explosion oder Verpuffung entwickelt.
- Der Explosionsdruck von Staub (Holz) / Luft Gemischen ist ähnlich dem des brennbaren Gas / Luft Gemisches. Staubexplosionen können allein aufgrund des großen Volumens des explosiven Gemisches, der bei einer Verteilung von erheblichen Mengen Staub in Luft entsteht, sehr stark sein. Die Explosionsstärke hängt vom Maß der Reaktionseingrenzung ab, die im Falle von BGPs am höchsten innerhalb der Anlage ist, wo Gase vorhanden sind (aber kein Staub).
- Eine Gas- oder Staubexplosion kann an Gebäude, Ausrüstung und Personal einen erheblichen Schaden anrichten.
- Eine Gas- oder Staubexplosion kann ein Feuer verursachen.

Mögliche Maßnahmen um Explosionsrisiken zu reduzieren:
Die Folgenden Maßnahmen gelten speziell für Vergasungsanlagen:
  - Vergasungsanlagen sollten den internationalen Normen zur Vermeidung und Kontrolle von Brand- und Explosionsgefahren entsprechend entworfen, gebaut und betrieben werden. Für sichere Entfernungen zwischen den Behältern innerhalb der Anlage sowie zwischen der Anlage und benachbarten Gebäuden sollte Sorge getragen werden.
  - Sicherheitskonzepte für den Betrieb und die Wartung der Anlage müssen umgesetzt werden. Dies sollte die Verwendung von störungsfreien Steuerungssventilen, Geräten für den Einsatz beim Notaus und Detektoren mit einschliessen.

Gemäß ATEX gibt es prinzipiell drei Möglichkeiten, um das Risiko einer Explosion zu reduzieren.:

- Primäre Maßnahmen, die daraus bestehen das Auftreten einer explosionsfähigen Atmosphäre zu vermeiden,
- Sekundäre Maßnahmen, die die Beseitigung von Zündquellen beinhalten, und,
- Tertiäre Maßnahmen, die der Entschärfung der Wirkung von Explosionen dienen.

Außerdem gibt es noch allgemeine Maßnahmen, die in Betracht gezogen werden sollten.

- PrimäreMaßnahmen: Vermeidung von explosionsfähigen Atmosphären
  - In Bereichen der Anlage in denen Überdruck herrscht, führen Gaslecks dazu, dass CO und H_2 in die Atmosphäre entweichen. Andersherum strömt bei Unterdruck Luftsauerstoff in die Anlage ein. Deshalb muss ein Sauerstoffsensor installiert werden, der den O_{2-} Gehalt innerhalb der Anlage anzeigt sowie ein CO Monitor, der den CO Gehalt außerhalb der Anlage anzeigt. Die maximal zulässige Sauerstoffkonzentration am Ort der Probenentnahme muss unter Berücksichtigung der ermittelten Zündgrenzen und der durch die Anlagengeometrie bedingte Dispersionseffekte definiert werden. Hier wird auf die BGR 104[7] verwiesen, in dem der Stand der Technik bezüglich gebräuchlicher Flanschen, Dichtungen, etc. dargestellt ist.
  - Beim Einschalten können explosive Atmosphären dadurch vermieden werden, dass die Anlage im Verbrennungsmodus betrieben oder mit Stickstoff geflutet wird.
  - Nach dem Abschalten und Abkühlen sollte das gesamte System mit Stickstoff inertisiert werden. Mit Luft kann auch geflutet werden. Dies wird aber nicht empfohlen, da in diesem Fall die Zündquelle vorher beseitigt werden müsste. Das gehört zu den sekundären Schutzmaßnahmen.

  - Es ist auch wichtig Staubwolkenbildung zu vermeiden, um explosive Atmosphären vorzubeugen:
    - Um Staubexplosionen zu vermeiden muss die Arbeitsumgebung sauber gehalten werden, Staubablagerungen beseitigt und für einen sauberen Boden gesorgt werden.
    - Die gesamte Anlage sollte gut durchlüftet sein.
    - An geeignete Stellen mit Inertgas fluten.
- Sekundäre Maßnahmen: Die Beseitigung von Zündquellen:
  - Die Anlage sollte geerdet sein um elektrostatische Aufladung und Gefahren durch Blitzeinschläge zu vermeiden (einschliesslich der

[7] BG-Regel 104 „Berufsgenossenschaftliche Regeln für die Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit - Explosionsschutz-Regeln“, Ausgabe Dezember 2002, SMBG

Vorschriften für und die Verwendung und Wartung von geerdeten Verbindungen).

- Die Verwendung von eigensichere elektrische Installationen und funkenfreie Werkzeuge wird empfohlen.
- Reparaturen wie Schweißarbeiten, Flexen, Schleifarbeiten und Sägen dürfen nur an dafür vorbereiteten Systemen durchgeführt werden. Leicht entzündliche Materialien und explosionsfähige Gemische oder Atmosphären müssen entfernt oder vermieden werden, bevor solche Arbeiten durchgeführt werden können.
- Fehlzündungen von einer Gasfackel können durch den Einsatz einer Flammenrückschlagsicherung oder einer Wasservorlage verhindert werden. (siehe hierzu EN 12874).
- Ex-Zoning: Die Einteilung in Ex- Zonen bestimmt welche Anforderungen an die Ausrüstung der Komponenten gestellt werden. Wenn Ex-Zonen definiert werden, ist es in einem zweiten Schritt notwendig alle potentiellen Zündquellen in diesen Bereichen zu ermitteln. Die Einteilung von Bereichen in denen gefährliche explosionsfähige Atmosphären auftreten können muss gemäß ATEX Richtlinie 1999/92/EC durchgeführt werden. Die folgenden Anlagenbereiche kommen für die Einteilung in Ex-Zonen in Betracht[8].
  - Brennstofflagerung und Zufuhr unter der Berücksichtigung von Staubexplosionen;
  - Brennstoffzufuhr;
  - Asche und Staubaustragsystem;
  - Abwassersystem;
  - Gasfackel und Zusatzfeuerungssysteme;
  - Gasmotor und Abgassystem;
  - Mann- und Handlöcher sowie Probenentnahmestellen;
  - Messstellen;
  - Verflüssigte Erdölgastanks oder Flaschen.

Die Einteilung in Ex-Zonen hängt von den möglichen Risiken der Bereiche ab. Es wird sehr empfohlen für jeden Bereich eine entsprechende Zonenklassifizierung vorzunehmen, da diese sehr von der Belüftung der Anlage abhängen und viele Anlagen für den Betrieb auf offenem Gelände entworfen wurden.

- Tertiäre Maßnahmen, die für Vergasungsanlagen geeignet sein können:

  - Das ganze System so konstruieren, dass es dem Druck einer eventuellen Explosion standhält. Für einen nicht verbundenen Einzelbehälter ist der Explosionsdruck ungefähr 8 Bar. Wenn man jedoch den maximal

möglichen Explosionsdruck errechnet, muss man berücksichtigen, dass sich die Einzeldrucke bei verbundenen Behältern summieren können. Der resultuierende maximale Explosionsdruck ist tatsächlich höher als der für einzelne geschlossene Behälter errechnete Wert;
    - Eine Flammenrückschlagsicherung oder eine Wasservorlage sollte eingesetzt werden;
    - Der Explosionsdruck sollte über geeignete Ventile abgelassen werden.[9]

- Weitere allgemeine Maßnahmen:
    - Es sollte ein Rauchverbot im Bereich der Anlage herrschen, Verbotsschilder m üssen angebracht werden und entsprechende Schulung für Mitarbeiter müssen angeboten werden.
    - Die gesamte Anlage sollte gut durchlüftet sein. Entweder durchlüftet man die Anlage exzessiv, oder flutet da, wo es geeignet ist mit dem sechsfachem des Systemvolumens mit Inertgas.

5.4.2 Feuer

Wann und wo:

- Nach einer Explosion
- Die Selbstentzündung von feuchtem und hochgetapeltem Brennstoff kann zur Brandentstehung führen. Diese Art der spontanen Entzündung kann die Folge von Hitzeentwicklung tief im innern einer relativ großen Masse sein. Es ist unwahrscheinlich, dass es bei einer kleinen Menge Biomasse zu Selbsterhitzung kommt, aber bei großen Stapeln kann dies zur Brandentstehung führen.
- Wenn maximal zulässige Temperaturen überschritten werden.
- Durch Funken bei hitze-erzeugenden Arbeiten, wie Schweißarbeiten, Flexen, Schleifen und Sägen;
- Bei der Entsorgung von heisse Asche kann ein Brand verursacht werden.

[8] Explosionsfähige Gasgemische sind unter nicht-atmosphärischen Bedingungen, d.h. bei hohen Temperaturen, außerhalb des Anwendungsbereiches derr Richtlinie 1999/92/EC und Ex-Zoning könnte in diesem Fall ungeeignet sein. Bedingungen, die die Entstehung von solche Gemische begünstigen müssen separat behandelt werden.

[9] In der Praxis werden Explosionsgefahren auch durch Berstscheiben vorgebeugt. Diese sind im Handel erhältlich aber etwas teuer. Mit solchen Gerätschaften verlangt ATEX jedoch die Entkopplung des entsprechenden Anlagenbereichs von den anderen Teilen durch Flammensperren, wodurch das ganze System sehr kompliziert wird. Ausserdem werden Federventile verwendet von denen aber abzuraten ist, da diese mit Teer und Staub verkleben. Reference is made to the standards EN 14994 (Gas explosion venting protective systems - 2006) and EN 14797 (Explosion venting devices – 2005).

- Ein sehr reichhaltiges Gemisch kann im Bereich des Abgasrohrkrümmers bei Abbremsen des Motors entstehen. Dieses Gemisch ist heiß genug um selbst zu zünden wenn genügend Luft zur Zündung vorhanden ist. Wenn die Zündung zu spät erfolgt, können Fehlzündungen im Gasmischer auftreten. Wenn die Zündung zu früh erfolgt, können Fehlzündungen im Bereich der Einlaßventile stattfinden, so dass diese durchdbrennen.
- Bei Störungen im System zur Verhinderung von Rückbrand (Ventil-, Drehventilsystem, Doppelklappenschleuse) weil Fremdmaterial hineingelangt ist oder aufgrund fehlerhafter Brennstoffdosierung und -apparate etc.
- Das Auslaufen von brennbaren Flüssigkeiten kann einen Brand verursachen, wenn eine Zündquelle vorhanden ist.

Was passiert:
- Verletzungen von Menschen;
- Beschädigung der BGP und anderer Gebäude;
- Kann eine Zündquelle für Explosionen darstellen;
- Toxische Gase können entweichen.

Mögliche Vorkehrungen:
- Brennstoffe sollten in verschlossenen feuerisolierte Behältern, oder ion einem seperaten Raum oder Gebäude gelagert werden.
- Eine räumliche Trennung der Brennstofflagers vom Vergaser kann mit einer festgelegten Feuerwiderstandzeit erforderlich sein. Dies hängt von den örtlichen Brandschutzbestimmungen ab.
- Schutz vor Fehlzündungen durch Ventile z.B. Doppelklappenschleuse, Drehventil, etc. auf dem Vergaser gemäß nationaler Bestimmungen. Der Ascheaustrag sollte eine Befeuchtungsvorrichtung haben um glühende Partikel zu löschen. Man kann auch die Ascheaustragsschnecke mit Stickstoff inertisieren.
- Temperaturüberwachung im Brennstofflager
- Ausreichende Belüftung, vorzugsweise natürliche Belüftung, mit einem sechsmaligen Luftwechsel pro Stunde
- Ausrüstung zur Branderkennung und Feuerbekämpfung (Rauchmelder, Feuerlöschschlauch), die die internationalen technischen Vorgaben erfüllt in Bezug auf die Art und Menge der auf dem Gelände vorhandenen entzündbaren und brennbaren Stoffe
- Aufenthaltsräume sollten von der Gefahrenzone entfernt sein oder durch einen Feuervorhang geschützt werden.
- Die Lufteinlaßventile sollen verhindern, dass Rauch in die Aufenthaltsbereiche eintritt.
- Vorschriften für das Verhalten im Brandfall müssen vorliegen, deren Ausführung durch die notwendigen Ressourcen und Schulungen unterstützt wird, einschließlich Schulungen für Mitarbeiter über die Anwendung von Ausrüstungen zur Brandbekämpfung und das Verhalten im Falle einer Evakuierung.
- Feuerlöschsystem, z.B. Sprinkleranlage; Anmerkung: Bestimmungen die den Brandschutz betreffen müssen mit dem zuständigen Brandschutzexperten der Genehmigungsbehörde abgestimmt werden. Zu den festinstallierten Systemen können Feuerlöscher und automatisch oder manuell betriebene Feuerschutzausrüstung zählen.
- Alle Brandschutzsysteme sollten in einem sicheren Bereich der Anlage untergebracht sein und durch ihre Entfernung oder einem Feuervorhang geschützt sein. Die oben angegebene Ausrüstung zur Branderkennung muss für

den Einsatz in staubiger Umgebung geeignet sein, um das zufällige Auslösen eines Alarms (falscher Alarm) zu verhindern.

5.4.3 Das Auslaufen von toxischen Flüssigkeiten

Wann:

- Undichte Stellen im Bereich der Gaskühlung
- Lager- und Aufbewahrungstanks die toxische Flüssigkeiten enthalten
- Wartungen im Bereich der Gaskühlung

Wo

- Kondensation von Wasserdampf oder Teer kann stattfinden, wenn im Bereich der Gasreinigung ein Naßwäscher oder ein Kondensat bildender Wärmetauscher eingesetzt wird.
- Waschlösungen und andere Lösemittel, die bei der Wäsche oder Schmierung von Teerverschmutzten beweglichen Teilen verwendet werden können toxisch oder ätzend sein (einschließlich mancher industrielle Fettlöser).

Was passiert:

- Möglicher Kontakt mit toxischen/ätzenden Flüssigkeiten kann zu Verletzungen, Erstickung, Reizung der Augen oder Atmungsorgane führen.
- Die Flüssigkeit könnte verdampfen und die entstehenden toxischen Gase, z.B. PAKs (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe), von denen manche karzinogen sind, eingeatmet werden.
- Das Entweichen von toxischen Flüssigkeiten kann eine Gefahr für die Umwelt werden oder die Umwelt verschmutzen.
- Bei brennbaren Flüssigkeiten besteht außerdem die Gefahr der Bildung einer explosiven Atmosphäre.

Mögliche Vorkehrungen:

- Tragen von Sicherheitskleidung (chemisch beständig) z. B. Handschuhe, Schutzbrille, Sicherheitsschuhe
- Tragen von geeigneten Atmungshilfen, um das Einatmen von toxischen Dämpfen zu verhindern.
- Für ausreichende Belüftung in der Umgebung sorgen
- Das Aufbewahren in Sammelbehältern die durch zertifizierte Firmen abgeholt und entsorgt werden, so wie es in der jeweiligen Genehmigung vorgeschrieben wird.
- Das Inventar von toxischen und ätzenden Flüssigkeiten vorort auf ein Minimum reduzieren.
- Reinigungssets für ausgelaufene Flüssigkeiten müssen vorhanden sein.
- Benutzung von funkenfreie Werkzeuge
- Tournusmäßige Inspektion des Bestandes der toxische/ätzenden Flüssigkeiten.

5.4.4 Das Entweichen von toxischen Gasen (CO)

Wann:

- Wenn undichte Stellen oder Überdruck im System vorkommen. Besonders wenn eine Anlage ausgeschaltet wird ist das gesamte System mit toxischem Gasen gefüllt. Es ist wichtig zu wissen, dass nach Ausschalten der Anlage eine Zeit lang (ca. 30 Minuten) weiterhin Vergasungsreaktionen stattfinden, die Überdruck zur

Folge haben können wenn entsprechende Gegenmaßnahmen ausbleiben. Dies gilt insbesondere für Festbettvergaser, die große Mengen Treibstoff enthalten.
- Während der Wartung der Anlage
- Wenn toxische Flüssigkeiten entweichen

Wo:
- Im Bereich von Dichtungen bei Überdruck
- Überall dort wo Überdruck entsteht
- Bei der Emission von Abgasen

Was passiert:
- CO Vergiftung
- Explosionsgefahr bei CO (see 5.4.1).
- Erstickungsgefahr (CO, PAH)
- Toxizität, sofort oder auf lange Sicht, da einige Komponenten des Synthesegases z.B. PAKs karzinogen sind
- Reizung der Augen und der Atemwege

Mögliche Vorkehrungen:
- Das System so konstruieren, dass es gasdicht ist (siehe Abschnitt 5.5.)
- Betreiber sollten kleine tragbare CO Messgeräte mit sich führen und feste CO Detektoren sollten in Lagergebäuden, Vergaserhüllen, im Gasmotorraum installiert sein, die bei CO Werten oberhalb 25/ 50 ppm alarmieren.
- Kontrollräume sollten mit Überdruck gelüftet werden.
- Es sollte für ausreichende Belüftung im Vergasergebäude gesorgt werden
- Wenn toxische Flüssigkeiten entweichen, sind die in Abschnitt 5.4.3 genannten Maßnahmen gültig.

5.4.5 Bedienfehler

Nur qualifiziertes Fachpersonal darf die Anlage bedienen und sie instandhalten. Das Personal sollte “on-the-job” mit Hilfe des original Betriebshandbuchs vom Hersteller der technischen Ausrüstung auf dasselbe eingearbeitet werden. Es bestehen jedoch immer noch viele potentielle Risiken, die durch Bedienfehler verursacht werden:
- Wenn Alarmeinstellungen umprogrammiert werden, ob autorisiert oder nicht autorisiert, müssen diese wiederhergestellt werden sobald ein aufgetretenes Problem behoben wurde.
- Sicherheitsbezogene Änderungen an der Prozesssteuerung dürfen nur von besonders ausgebildetem Personal durchgeführt werden und müssen im Logbuch dokumentiert werden. In der Betriebsanleitung muss direkt auf solche Handlungen hingewiesen werden (z. B. das Ändern von Alarmeinstellungen oder Reprogrammierung).
- Es müssen Vorschriften für Betriebsabläufe existieren, die festlegen ob eine Anlage von einer oder mehreren Personen betrieben wird.

5.5 Normen und Standards

Für die Gestaltung und den Betrieb von BGPs gelten verschiedene Richtlinien und Normen. Anzuwendende Richtlinien sind in Kapitel 3 zu finden. Eine aktuelle Liste der harmonisierten Normen I.S. der europäischen Richtlinien ist im Internet zu finden unter:

http://ec.europa.eu/enterprise/newapproach/standardization/harmstds/reflist.html.

Richtlinien für den Betrieb von BGPs können typischerweise in den nationalen Gesetzbüchern und technische Regelwerken, etc. gefunden werden. Diese sind nicht als Richtlinien oder Normen formuliert (wie EN oder ISO Normen).

Vergasungsanlagen müssen in Bezug auf die Gestaltung, den Bau und den sicheren Betrieb bei der örtlichen Feuerwehr und der Zulassungsbehörde genehmigt werden. In manchen Fällen ist eine ergänzende Stellungnahme durch Gutachter, externe Experten und Umweltbehörden erforderlich. Die genaue Art der Genehmigung kann innerhalb der EU variieren und hängt von Anlagenparametern wie Leistung, Vergaserbrennmaterial, Anlagenstandort usw. ab.

5.5.1 Eine Norm für die Gasdichtheit

Es gibt ein paar Normen, die in der chemischen Industrie angewendet werden, die den sicheren Umgang mit gefährlichen Substanzen (toxische und brennbare) in Rohren und Behältern festlegen. Richtlinien, die Gasdichtheit betreffen entsprechen dem Stand der Technik in Bezug auf anzuwendende Methoden um Leckagen zu vermeiden, zu detektieren, etc.
Technische Maßnahmen, die die Anwendung von Normen für Rohrleitungssystemen, deren Gestaltung und Wartung betreffen, sind auf der “Health and Safety Executive “ Webseite zu finden. Diese entsprechen dem Stand der Technik für COMAH (Seveso II) Betriebe:

http://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/techmeaspipework.htm

Selbst wenn die Seveso II Richtlinie nicht absolut auf BGPs zutrifft, können darin enthaltene Empfehlungen für die Gasdichtheit bei BGPs anwendbar sein (wie z.B. die Häufigkeitswerte und Schweregrade für die Risikobewertung). Die Vorschriften, die in Tabelle 5.1 aufgeführt sind könnten relevant sein.

Die Deutschen Richtlinien stellen einige Definitionen und Bemerkungen über “technische Dichtheit” zur Verfügung.

- Im unverbindlichen Leitfaden über die Richtlinie 1999/92/EC, cf. sind im Glossar Bemerkungen über die Zone 2 enthalten.
- In den
  - “Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS)”: TRBS 2152 Teil 2, Kapitel 2.4.3,
  - “Technischen Regeln für Gefahrstoffe“: TRGS 722, und in den
  - “Berufsgenossenschaftliche Regeln (BGR)" (Arbeitgeber Haftpflicht Versicherungsgenossenschaft/ professionelle Organisationen): BGR 104 "Explosionsschutz" (sehr ähnliche Definitionen und Beschreibungen sind in diese Dokumente enthalten)

Bei den Technischen Regeln für Betriebssicherheit wird zwischen Einheiten, die “technisch dicht” sind und diejenigen, die “auf Dauer technisch dicht” sind unterschieden. Im letzteren Fall ist kein gefährliches Entweichen von entzündlichen Stoffen zu erwarten und es besteht kein Grund eine Gefahrenzone um eine solche Ausrüstung zu klassifizieren. TRBS 2152-2 etc. geben ein paar Beispiele von Verbindungen, die als “auf Dauer technisch dicht” eingestuft werden, z.B. bestimmte Arten von Flanschen, die bei Rohrverbindungen benutzt werden.

In manchen Fällen können technische Maßnahmen in Kombination mit regelmäßiger Inspektion und Wartung auch dazu führen, dass die Ausrüstung als “auf Dauer technisch dicht” gilt.

Bei Ausrüstungen, die als “technisch dicht” anzusehen sind, sind Entweichungen zu erwarten, das in der Regel zu eine Einteilung in Zone 2 für die Ausrüstung/Verbindungen führt.

Es gibt in TA-Luft (Kapitel 5.2.6.3) in Hinblick auf Umweltschutzmaßnahmen einige Vorschriften zu finden, die sich auf zulässige Leckraten von Flanschverbindungen und Dichtungen beziehen. Diese beziehen sich jedoch auf gasförmige Emissionen von bestimmten (flüchtigen oder gefährlichen) organischen Flüssigkeiten und gelten nicht formal für Generatorgas.
Auf die technischen Anforderungen bezogen, entspricht TA-Luft der Vorschrift VDI 2440 (für technisch dichte Flanschverbindungen) und EN 1591-2 für die Wahl und Gestaltung von Flanschverbindungen.
Diese Normen könnten auch für Flanschverbindungen bei Rohren mit gefährlichen Gasen anwendbar sein.

5.5.2 Literatur über Zoneneinteilung und Explosionsschutz

Die “Health and Safety Executive” Webseite enthält allgemeine Informationen über:

- Feuer und Explosionen:
www.hse.gov.uk/fireandexplosion/index.htm

- ATEX Richtlinie (DSEAR genannt in U.K.)
www.hse.gov.uk/fireandexplosion/atex.htm

- Kurzer Leitfaden zur ATEX Richtlinie:
www.hse.gov.uk/pubns/indg370.pdf

- Zonen Klassifizierung:
www.hse.gov.uk/fireandexplosion/zoning.pdf

Eine kurze Anleitung wird auch von verschiedenen Quellen gegeben, die in Tabelle 5.2 aufgeführt sind. Die verschiedene Quellen enthalten Informationen über Explosionsschutzmaßnahmen (z. B. EN 1127-1:2007).

Tabelle 5.1: Normen für Gasdichtheit die bei BGPs gelten können

Quelle	Name	Beschreibung
American Society of Mechanical Engineers (ASME) http://www.asme.org/	B31.3-2002 Process Piping	Erdöl Rafinerien, chemische, pharmazeutische Anlagen, Textil-, Papier-, Halbleiterfabriken, und kryotechnische oder vergleichbare Anlagen. Inhalt und Anwendungsbereich (a) Dieser code schreibt Anforderungen für Material und Komponenten, Gestaltung, Herstellung, Montage, Errichtung, Untersuchung, Inspektion und Prüfung von Rohren vor. (b) Dieser Code gilt für Rohre für alle Flüssigkeiten, inklusive: rohe, intermediäre und fertige Chemikalien; (2) Erdöl Produkte; (3) Gas, Dampf, Luft und Wasser; (4) verflüssigte Feststoffe; (5) gekühlte; und (6) kryogenische (tiefgekühlte) Flüssigkeiten. (c) Siehe Abb. 300.1.1 für ein Diagramm, das die Verwendung von B31.3 Rohren in einer Anlage illustriert. Die Verbindungsleitungen zur Anlage sind im Anwendungsbereich von B31.3. Innerhalb des Anwendungsbereiches sind auch Rohrleitungen, die Teilstücke oder Abschnitte innnerhalb einer verpackten Anlagenanordnung verbinden. Ausnahmen. Dieser Code schließt folgendendes aus: (a) Rohrleitungssysteme, die für interne Überdrucke bei oder über Null aber weniger als 105 kPa (15 psi), vorausgesetzt die verarbeitete Flüssigkeit is nicht entzündbar, nicht toxisch und nicht schädigend für menschliches Gewebe, nach der Definition in 300.2, und ihre definierte charakteristische Temperatur von -29°C (-20°F) bis 186°C (366°F) liegt; (b) Power Boiler nach BPV Code2 Section I und externe Boiler Leitungen gemäß B31.1; (c) Rohre, Rohrverteiler, Crossoververbindungen und Verteilrohr von Heizungen, die sich in der Einhausung der Heizung befinden; und (d) Druckbehälter, Hitzeaustauscher, Pumpen, Kompressoren, und weitere Flüssigkeitsverarbeitende Geräte, inklusive interne Rohrleitungen und Verbindungen für externe Rohrleitugen.
IGEM www.igem.org.uk	IGE/UP/1/New Edition 2 2003 Leitfaden für kommerzielle Gasdichtheituntersuchuungen und Reinigungsanforderungen.	IGE/UP/1 (Edition 2) bietet eine praktische Anleitung für Gasfachkräfte, die Belastungs- und Dichtheitstests durchführen sowie Leitungen reinigen im kommerziellen Sektor.

IGEM Energy Institute Publications http://www.igem.org.uk/Technical/energyinstitute.asp	IP Model Code of Safe Practice Part 13: Druck Untersuchung des Leitungssystems	Zweck dieser Richtlinie ist es, ein Leitfaden für das sichere Vorgehen bei wiederkehrenden Dichtigkeitsuntersuchungen und der Prüfung von Rohrleitungssystemen, die in Erdöl- und der chemischen Industrie eingesetzt werden zu erstellen. Die Richtlinie enthält die allgemeinen Anforderungen in Bezug auf die Bereitstellung und Wartung von geeigneten Dokumentationen, wiederkehrende Untersuchungen, die Kontrolle von Änderungen und Reparaturen, Prüfungsfrequenz, Schutzeinrichtungen und die Prüfung von Rohrleitungssystemen. In vielen Ländern gibt es gesetzliche Vorschriften, sowohl lokale als auch nationale, im Zusammenhang mit der wiederkehrende Untersuchung von Druckbehältern und, wo dies der Fall ist, sollte diese Richtlinie als Ergänzung betrachtet werden.
Britishes Norm	BS 3636:1963 Methoden die zur Gasdichtheit führen bei evakuierten Anlagen oder solche die unter Druck stehen	Zehn Methoden für die Anwendung auf evakuierte Anlagen, sieben unter Druck befindlichen Anlagen. Fünf befassen sich mit direkten Messungen der Mengen, sind aber zu unempfindlich oder langwierig. Andere nutzen Suchgas und Gasdetektoren. Vier verwenden Vakuum-Messgeräte, die auch einen anderen Zweck in der Anlage erfüllen können. Jede Methode beschreibt die Geräte, besondere Vorsichtsmaßnahmen, Verfahren, die Auswertung der Ergebnisse, Funktionsprinzipien, und Empfindlichkeit. Gestaltung der Anlage; Verträge; Sperrung von kapillaren Leckagen; Leckraten von verschiedenen Flüssigkeiten; Arbeitsbeispiele; Sicherheitsvorkehrungen; Bibliographie; Methoden der Leckortung
Britishes Norm	BS 4504-3.3:1989 Kreisförmige Flanschen für Rohre, Ventile und Armaturen (PN angegeben). Spezifikationen für Kupfer-Legierungen und Kompositflanschen	Flanschentypen von PN 6 bis PN 40 und in Größen bis zu DN 1800. Verkleidungen, Abmessungen und ihre Toleranzen, Bolzenrgrößen, Materialien für die Verschraubung und Flansch Materialien mit verbundenen Druck-Temperatur-Bewertungen.
API	API 570 2nd Edition 1998 Richtlinie für Rohrleitungsuntersuchungen	Umfasst die Inspektion, Instandsetzung, den Umbau, und Neubewertungsverfahren für die im Betrieb befindliche metallische Rohrleitungssysteme. Legt die Anforderungen und Richtlinien fest, mit denen Eigentümer / Nutzer von Rohrleitungssystemen die Sicherheit und die mechanische Integrität der Systeme gewährleisten können, nachdem sie in Betrieb genommen wurden. Für die Verwendung durch Organisationen, die Zugang zu einer zugelassenen Kontrollstelle haben, Reparaturstellen und technische Fachkräfte. Kann verwendet werden für jedes Rohrleitungssystem, wenn es von Nutzen ist. Inspektoren für Rohrleitungssysteme sind wie in dieser Inspektionsrichtlinie angegeben zu zertifizieren.

API	API 510 - "Druckbehälter Inspektionsrichtlinie:: Instandhaltung Inspektion, Bewertung, Reparatur und Umbau "	Befasst sich mit der Wartung Inspektion, Reparatur-, Umbau-und Neubewertungsverfahren für Druckbehälter, die in der Erdöl-und chemischen Prozessindustrie eingesetzt werden.
API	API RP 572 - "Inspektion von Druckbehältern"	Befasst sich mit der Inspektion von Druckbehältern. Es enthält eine Beschreibung der verschiedenen Arten von Druckbehältern und die Standards, die für ihren Bau und die Instandhaltung verwendet werden können.
API	API RP 574 - "Inspektionsmethoden für Rohrleitungssystemkomponenten, Juni 1998"	Befasst sich mit Inspektionsmethoden für Rohrleitungen, Schläuchen, Ventilen (ausgenommen Regelventile), die in der chemischen Industrie verwendet werden und deren Einbau in Raffinerien.
API	API RP 575 - "Inspektion von atmosphärischen und Niederdruck-Behälter n"	Befasst sich mit der Inspektion von atmosphärischen Behältern, die konstruiert wurden für den Betrieb bei Druckverhältnisse von bis zu 0,5 bar über dem atmosphärischem Druck. Es befasst sich auch mit der Inspektion von Niederdruck-Tanks, die für den Betrieb bei einem Druck über 0,5 bar, aber weniger als 15 bar kontruiert wurden.
Health and Safety Executive	Webseite	http://www.hse.gov.uk/chemicals/spctechgen33.htm#App2

Tabelle 5.2: Anleitung für ATEX

Quelle	Name	Beschreibung
Energy Institute (führende Berufsverband für die Energiewirtschaft) http://www.energyinst.org.uk/index.cfm?PageID=1005#whatis	Model Code of Safe Practice Part 15: Bereichseinteilung und Klassifizierungsrichtlinie für Anlagen die mit brennbaren Flüssigkeiten umgehen.	*Model-Code für die sichere Praxis Teil 15: Die Richtlinie für die Zonenklassifizierung von Anlagen für den Umgang mit brennbaren Flüssigkeiten (EI 15, früher als IP-15 genannt)* ist eine etablierte, international anerkannte Veröffentlichung, die Methoden für die Einteilung von Ausrüstungen, die für die Lagerung und die Handhabung von brennbaren Flüssigkeiten eingesetzt werden in Ex-Zonen aufzeigt für die Produktions-, Verarbeitungs-, Verteilungs- und den Vertriebssektoren. Er bildet einen sektorspezifischen Ansatz zur Erreichuung der Ex-Zonen Klassifizierungsanforderungen für brennbare Flüssigkeiten die in Großbritanien durch "die Gefährlichen Stoffe und explosive Atmosphären Verordnungen "(DSEAR) 2002 gelten. Damit ist sie viel detaillierter als BS EN 60079-10 "Elektrische Betriebsmittel für gasexplosiongefährdete Bereiche: Einteilung der explosionsgefährdeten Bereiche". Beachten Sie, dass der Anwendungsbereich der EI 15 Ex-Zonen Klassifizierung Gefahren, die von Staub herrühren ausschließt.
SHAPA (Shapa ist der führende britische Fachverband für die Schüttgutaufbereitung und die verarbeitende Industrie seit ihrer Gründung im Jahr 1981)	Praktische Anleitung für Anbieter und Betreiber von Ausrüstungen für den Umgang mit Feststoffen (Staub) die als potenziell explosiv gelten Einhaltung von Rechts-vorschriften zur Umsetzung der ATEX-Richtlinien. http://www.shapa.co.uk/atex.php	Ziel ist es, praktische Hinweise für Hersteller, Lieferanten und Betreibern bei der Herstellung, Installation und Betrieb von Geräte oder Systeme, die die Einhaltung von Normen im Rahmen der ATEX-Richtlinien erfordern, insbesondere in staubiger Umgebung zu gebenAußerdem beinhaltet sie eine kurze Beschreibung der beiden entsprechenden ATEX-Richtlinien und der Erläuteruung deren Zwecks und derer Anwendungsbereiche. Pdf document**:** http://www.shapa.co.uk/pdf/atex.pdf
Bundesministerium für Arbeit und Soziales (German Federal Ministry of Labour and Social Affairs)	TRBS 2152 "Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre"	TRBS 2152 (TRBS = Technische Regeln für Betriebssicherheit)(Beschreibt Regeln für den Schutz vor Gefährdungen durch explosionsfähige Atmosphären am Arbeitsplatz. Wenn diese Regeln befolgt werden, ist die Einhaltung der deutschen Vorschriften über Sicherheit am Arbeitsplatz und den Verordnungen über gefährliche Stoffe gegeben. TRBS 2152 wird in BGR 104 erwähnt, die eine umfassende Beschreibung von der Entstehung und der Verhinderung von gefährlichen explosionsfähigen Atmosphären, über mögliche Zündquellen und deren Prävention und über konstruktive Maßnahmen zur Abschwächung der Auswirkungen von Explosionen gibt. BGR 104 enthält eine detaillierte Liste von praktischen Beispielen für Ex-Zonen und Sicherungsmaßnahmen, die unter verschiedenen Faktoren (z. B. Lüftung, Quellstärke) zu berücksichtigen sind.
DGUV (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung), (former HVBG)	BGR 104: Explosionsschutz-Regeln (EX-RL) – Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphären mit Beispielsammlung	

Europäische Kommission	Guidance on ATEX Directive 94/9/EC	http://ec.europa.eu/enterprise/atex/guide/index.htm Harmonisierter Leitfaden: http://ec.europa.eu/enterprise/atex/guide/atexguidelines_august2008.pdf Erwägungen, Papiere des Ständigen Ausschusses für ATEX, darüber wie die Richtlinie interpretiert werden soll: http://ec.europa.eu/enterprise/atex/standcomm.htm
Europäische Kommission	Anleitung für die ATEX Richtlinie 1999/92/EC	MITTEILUNG DER KOMMISSION über den nicht verbindlichen Leitfaden für bewährte Verfahren zur Umsetzung der Richtlinie 1999/92/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Mindestvorschriften zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet sind: **http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2003:0515:FIN:EN:PDF** [auch in anderen Sprachen verfügbar; Suche http://eur-lex.europa.eu for COM(2003) 0515 document]
Europäisches Norm	EN 1127-1 Explosionsfähige Atmosphären - Explosionsschutz - Grundlagen und Methodik	Explosionsfähige Atmosphären, Brandverhütung, Explosionen, Gefahren, Klassifizierungen, Zündung, Oberflächen, Flammen, elektrische Funken, Gase, Partikel-Materialien, Elektrostatik, elektrischer Strom, Blitz, elektromagnetische Strahlung, hohe Frequenzen, Entflammbarkeit, ionisierende Strahlung, Ultraschall, chemische Gefahren, Design, Lüftung geschützter elektrischer Geräte, Einteilung in gefährliche Bereiche (für elektrische Geräte), Staub, Brandschutz, Flammendurchschlagsicherungen, Sicherheitsmaßnahmen, Hinweise für die Kennzeichnung, Handwerkzeuge, Steuerungsgeräte, elektrische Sicherheit, Risikobewertung
Europäisches Norm	EN 60079-10 Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Atmosphären Teil 10: Einteilung der explosionsgefährdeten Bereiche	Die Norm EN 60079-10 und EN 61241-10 erklären die grundlegenden Prinzipien der Zoneneinteilung für Gase, Dämpfe und Staube. Diese Normen bilden eine geeignete Grundlage für die Beurteilung des Umfangs und der Art von Zonen und können als Leitfaden für die Einhaltung der nationalen Anforderungen bezüglich des Explosionsschutzes verwendet werden. Sie können jedoch nicht den Umfang und die Art des Gebiets in einem bestimmten Fall geben, da standortspezifische Faktoren immer berücksichtigt werden sollten
Europäisches Norm	EN 61241-10 Elektrische Geräte für den Einsatz in Bereichen mit brennbarem Staub – klassifizierung der Bereiche in denen brennbaren Stäube sind oder vohanden sein können	

Für die Verwendung im Vergaserleitfaden wurden die Namen der Europäischen Normen (EN) zitiert, aber die verschiedene nationale Übersetzungen wurden ausgelassen um die Liste nicht unnötig zu verlängern.

5.6 Die Dokumentation

5.6.1 Die Betriebsanleitung

- Die Beschreibung der technischen Prozesse in den Hauptbereichen der Anlage (wie in Kapitel 2 beschrieben) einschließlich des R+I Schemas der Anlage.
- Eine Beschreibung der Strategien und Prozessen bei Automatisierung und Steuerung
- Technische Daten
- Kontaktinformation des Herstellers
- Prozeduren beim Betrieb und bei der Wartung
    - Das Einschalten
    - Normalebetrieb, Prozessvisualisierung und Einstellungsüberblick
    - Der automatische Betrieb
    - Das Ausschalten
    - Abläufe im Notfall
    - Checklisten, Inspektions- und Wartungstabellen (was, wann, wo gemacht wurde)
    - Die Störungsbeseitigung
    - Die Wartungsarbeiten
- Anweisung bei HSE Fragen
    - Qualifikation der Mitarbeiter
    - Eine Beschreibung der Gefahren die durch Missachten der HSE Anweisungen entstehen
    - HSE Anweisungen für dem normalen Betrieb
    - HSE Anweisungen bei Inspektionen und bei der Wartung
    - Während Reparaturarbeiten durch Techniker des Anlagenbesitzers

Der größte Teil des Dokuments muss durch den Hersteller bereitgestellt werden. Manchen Dokumente, z.B. Nachweise muss der Hersteller auf Verlangen vorlegen. Der Betreiber oder Besitzer der Anlage ist dafür verantwortlich die Information im Falle von Modifizierungen an der Anlage oder Änderungen im Betriebsablauf und bei der Wartung, wie z.B. die Veränderungen von gesicherten Einstellungen, etc. auf dem aktuellsten Stand zu halten.

5.6.2 Weitere Dokumentation

- Notfall Prozeduren
    - Checklisten (was, wann, wo gemacht werden muss)
    - Beschreibung von Rettungswegen
    - Kontaktaddressen bzw. Nummern für den Notfall
- Unfallregister
- Ersatzteilliste
- Logbuch (falls elektronisch mit sicherem Backup)
- Trainingshandbuch
- Detaillierte Anlagenbeschreibung (Zeichnungssatz)
    - Beschreibung der Prozesse

- Fliessdiagram (PID) der einzelnen Hauptprozessschritte für den Betrieb jeder Einheit der Anlage
- Liste der Komponenten (I/O Liste)
- HAZOP Analyse (wenn durchgeführt)
- Einschätzung laut Risikobewertung, Analyseprotokol (wenn durchgeführt)
- Motorenliste
- Signalliste
- Bauzeichnung

- Dokumentation der einzelnen Komponenten mit Zeichnungen
- Lizenzen und Genehmigungen (Bau, Umwelt, CE Kennzeichnung etc.)

Tabelle 5-1 zeigt die Teile der Dokumentation, die vom Hersteller zur Verfügung gestellt werden müssen und die, die vom Besitzer oder Betreiber angefertigt werden müssen.

Table 5-1: Für die Dokumentation verantwortliche Personen / Gruppen

Dokument	***Hersteller***	***Betreiber***
Betriebsanleitung	*X*	
Trainingshandbuch	*X*	
Aktualisierung der Betriebsanleitung		*X*
Beschreibung und Karte der Rettungtwege		*X*
Detaillierte Anlagenbeschreibung (Zeichnungssatz)	*X*	
Unfallregister		*X*
Logbuch		*X*

6 Emission abatement in biomass gasification plants

As described in chapter 3.6, the questions
- which emission abatement techniques from standard combustion applications can be successfully transferred to small biomass gasification plants and
- which emission values may thus be achieved,

still need to be answered, taking both environmental and economic considerations into account.

6.1 Emission abatement techniques

The description of emissions and emission abatement techniques in this chapter refers to the basic units of a biomass gasification plant which have been described in chapter 2.
Basic potential release routes for gasification plants can be identified as follows:

SOURCE RELEASES To: Air Water Land A W L	Substances									
	Particulate Matter	Oxides of Sulphur	Oxides of Nitrogen	Oxides of carbon	Organic compounds	Acids/alkalis/salts etc	Volatile organic	Hydrogen Sulphide	Ammonia	Metals and their salts
Fuel storage and handling	A				A W L		A			
Water treatment	W				W	W				W
Slag/Ash Handling	A									
Gas Handling & Treatment	A	A	A	A	A		A	A	A	
Salt Recovery	A				L W					
Wastewater Treatment	W			A	W	W			W	
Site drainage (incl Rainwater)	W				W					
Boiler Blowdown	W					W				W

Fig. 6.1: Potential release routes for gasification [30]

6.1.1 Fuel storage, pre-treatment, transport and feeding

A description of potential emissions and emission abatements techniques for the storage and handling of solid biofuels has recently been compiled by the Nordic Innovation Centre [31].

Solid biofuels dust may contain large amounts of microspores from actinomycetes (bacteria with a growth pattern similar to fungi) and moulds (fast-growing fungi), which find a favourable environment for growth in wet biomass, e.g. in chipped wood. These microspores are easily inhalable and can cause allergic reactions and alveolitis. The spores become airborne when the biomass is handled.

A way to avoid microbial growth and to reduce microspore emissions is to store only dry biomass (<20% moisture content), preventing the stored material from getting wet. In case of outdoor storage, it is important to utilize fuel or raw material piles according to age; the oldest first (FIFO-principle: First-in – First-out) [31]. Storage time of moist biomass should be reduced as much as possible.

If very large amounts of comminuted biomass are stored in enclosed spaces (like silos), the formation of appreciable levels of CO in the storage space is possible [31].

When dried biomass is mechanically treated or conveyed, dust will be released. Enclosed conveying systems can help to mitigate the release of dust. As described in chapter 5.4.1, good housekeeping (which includes the removal of dust deposits) will be a key to avoid self-ignition of dust layers on hot surfaces and to prevent dust explosions.

6.1.2 Gasification reactor

Operation of a gasification reactor at ambient pressure or at a slight underpressure will in general help to prevent gas emissions from the reactor. A reactor design that avoids both gas leaks and uncontrolled gas flow from or to the reactor is usually required for stable reactor operation and good producer gas quality.

Rotary gate valves, double sluice lock hoppers or similar systems are often used to prevent backfire and producer gas flow from the gasification reactor into the biomass feeding line, thus also avoiding producer gas emissions in case of disturbances in the gas cleaning and/or utilising system.

During reactor start-up and shutdown, the quality of the producer gas may not be adequate for gas engine utilisation. For these situations as well as for periods when the gas engine is temporarily unavailable, a flare or a similar device can be used to incinerate the producer gas (cf. chapter 5.3.2) in order to avoid atmospheric venting.

Ash removal from the reactor can be a source of dust emissions. If carbon-rich ash is produced, additional measures will be required to prevent self-ignition of the ash upon contact with air. Wet ash removal systems may be useful for both targets.

6.1.3 Gas cooling and gas cleaning

Unless the gasification reactor produces a very clean gas, tar and dust removal from raw producer gas will normally be required to permit reliable and disturbance-free operation of the gas engine. As described in chapters 2.5 and 2.6, raw gas cleaning can be accomplished with a combination of cyclones and (dry) filters or (wet) scrubbers, occasionally supplemented with electrostatic precipitators. This will minimise large-molecule tar components (e.g. polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) in the fuel gas to the gas engine, but may not be effective for organic components with a high vapour pressure (e.g. benzene).

If significant amounts of ammonia are present in the raw producer gas, removal e.g. by water scrubbing will be required to prevent formation of high concentrations of fuel-NOx in the gas engine.

If liquid residues are produced in the gas cleaning section which contain appreciable amounts of hydrocarbons, these may be fed to the gasification reactor or to other thermal units of the plant for thermal conversion. If the liquids are mostly water, they may be treated in activated carbon filters before being discharged to the sewer system. Otherwise, it may be necessary to dispose of such liquids as waste for off-site controlled treatment.

6.1.4 Gas engine operation and exhaust gas cleaning

The most important emissions from the gas engine are noise and exhaust gas. Noise emissions from the engines are limited by installing the gas engines in separate rooms with sound-absorbing walls and by using silencers for combustion air supply and on the exhaust gas lines.

Exhaust gas emissions have been described in chapters 2.7 and 2.8. Treatment of the exhaust gas with various techniques involving catalytic converters and post-combustion is basically possible for the reduction of single components in the exhaust gas (e.g. CO, NO_x, benzene, uncombusted hydrocarbons).
Long-term experience regarding the effectiveness and service life of catalytic converters in BGP application is not yet available at present. Catalyst service life is influenced substantially by catalyst poisons, e.g. heavy metal compounds, alkali compounds, etc., which in part can reduce the activity of the catalytic coating.

Due to the gas slip in internal combustion engines (cf. chapter 2.7), a fraction (about 1%) of the producer gas will pass through the gas engine uncombusted. In addition, combustion of nitrogen compounds in the producer gas (e.g. ammonia) will yield fuel-NO_x, which can be reduced by lean-gas operation, which means a relatively high oxygen level in the gas/air mixture, which lowers the exhaust gas temperature. However, at these conditions the CO emissions tend to increase.
Certain components in the producer gas may therefore require a combination of producer gas and exhaust gas cleaning techniques in order to achieve acceptable emission levels.

6.2 Emission limit values

In most European countries, national regulations that contain emission limit values for gas engines do not account in particular for engines fuelled with gas from thermal biomass gasification. Environmental permits for biomass gasification plants in these countries often draw on emission limit values that have been established in emission regulations for other types of fuels (e.g. biogas).

It is open to discussion whether emission limit values established for other gases in these regulations reflect the best currently available techniques for emission reduction in gas engines using producer gas from biomass gasification: some key process parameters of these activities are different, e.g. the CO content in the fuel gas, so emission limit values based on available and proven techniques for standard combustion activities (e.g. for CO-free fuel gas) may not be applicable to small BGPs. In addition, long-term efficiency of emission abatement techniques for small BGPs is still a matter of investigation. Therefore, it will be necessary to determine appropriate emission limits for small BGPs from continued experience with plants in operation and from measurements performed in these plants.

6.2.1 Emission limits in Denmark

In Denmark, specific emission limit values for gas engines fuelled with gas from thermal gasification of biomass waste have been established in 2005[9]. These emission limit values for NO_x, unburnt hydrocarbons (UHC), CO, and smell are cited below (reference state: dry exhaust gas at standard conditions, 5% O_2, except for smell – actual O_2 content):

NO_x: 550 mg/m^3

UHC: 1500 mg C/m^3 (valid for 30% electrical efficiency)

CO: 3000 mg/m^3

Smell: 20000 smell units/m^3

In combustion applications, the CO concentration in the flue gas is often used as an easy-to-measure indicator for combustion efficiency, with a special view to limiting the emission of high-concern substances like polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH). In Denmark, measurements on the exhaust gas of gas engines in commercially operated biomass gasification plants had revealed [32] that PAH emissions of these installations are very low, irrespective of the CO content of the exhaust gas which is mainly caused by gas slip in the engine. Therefore, a relatively high CO emission limit value has been fixed in the Danish regulations for gas engines running on producer gas. (For *combustion* of producer gas, Danish emission limits are considerably lower.)
An emission limit for smell emissions has been introduced in Denmark because smell (basically from aldehydes) had been found to be an issue with exhaust gas from gas engines operating on natural gas [32].

6.2.2 Emission limits in Germany

In Germany, emission abatement requirements towards biomass gasification plants (BGPs) established in the authorisation procedure depend on whether construction and operation of the plant are *subject to a permission according to immission control legislation (environmental permission)* (which is the case for BGPs that can produce gas with an energy equivalent of 1 MW or more) or whether the plant *requires* a *construction licence* only.
According to German law, the operation of plants subject to environmental permission must neither cause harmful effects on the environment nor cause immissions that exceed limit values (as stipulated e.g. in the Air Quality Directive

[9] BEK 621 of 23/06/2005 (Order about limitation of emission of nitrogen oxides, uncombusted hydrocarbons, carbon monoxide etc. from engines and turbines)

2008/50/EC and in German administrative guideline on assessment of odour in ambient air). BGPs in combination with other sources of emissions (e. g. road traffic, wood combustion) must not cause a benzene concentration in ambient air in excess of 5 µg/m³ (annual mean) within the sphere of influence of the BGP. Equally, plant-specific odor must not be perceivable in more than 10 % of the hours per year (or 15 %, depending on the type of land use). Additionally, emission abatement measures are required which are based on best available techniques (BAT).

For the purpose of limiting gas engine exhaust gas emissions, German licensing authorities will generally stipulate emission limit values as listed below, partly derived from TA-Luft[10] requirements for gas engines that are fuelled with biogas:

- Carbon monoxide (CO): 650 mg/m³
- Nitrous oxide (NO_x), stated as NO_2: 500 mg/m³
- Formaldehyde (HCOH): 60 mg/m³
- Benzene: 1 mg/m³
- Dust: 20 mg/m³

Experience has shown that even a benzene concentration of less than 3 mg/m^3 in the purified exhaust gas will already require the use of rather large oxidising catalysts. Therefore, the value of 1 mg/m^3 for benzene is currently regarded as a target value by many authorities.

As distinguished from the above requirements, the operator of a plant *not subject to environmental permission* in Germany has to make sure that any harmful effects on the environment which are avoidable using the best available techniques (BAT) will be avoided, and unavoidable harmful effects will be kept to a minimum using emission abatement measures based on BAT. Whether or not harmful effects on the environment can be caused (e.g. by benzene or odor emissions) will essentially depend [33] on

- exhaust gas flow rate and emission concentrations in that gas,
- the height of exhaust gas release to atmosphere and whether removal takes place in undisturbed free air flow,
- the distance to neighbours,
- how often producer gas that cannot be used in the gas engine (e. g. during plant start-up and shut-down) is vented to atmosphere without being incinerated, and

[10] "Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft)"; Technical Instructions on Air Quality Control, July 2002

- the quality of enclosure of equipment bearing strong-smelling substances (like raw producer gas, scrubbing liquids, tarry residues).

According to a recommendation given by a German Environmental Agency[11] [33], the licensing authority can generally assume without any further examination that a BGP will not cause harmful effects on the environment related to benzene emissions if these emissions do not exceed the minor mass flow of 5 g/h stipulated in section 4.6.1.1 of TA-Luft for diffuse emissions. This will be the case with plants that do not exceed 100 kW electrical power output (corresponding to an exhaust gas flow rate of less than 500 m^3/h at STP) if the benzene concentration in the purified exhaust gas is less than 10 mg/m^3, ensured e.g. by using an oxidising catalyst.

In general, this will depend on the fulfilment of additional conditions, e.g.

- a certificate issued by the manufacturer stating that
    - a benzene concentration of less than 10 mg/m^3 will be safely achieved with the plant design (verified by measurements performed by an agency which is qualified for such measurements relating to the foreseen width of fuel),
    - producer gas not used in the engine will be safely incinerated, with a CO concentration in the flue gas of less than 2 g/m^3 (verified by measurements which may be done by a chimney sweep in Germany), except for start-up and shut-down operation of less than 5 minutes once per week, and
    - no further development work will be necessary on the BGP which would require additional start-ups and shut-downs
- annual testing of proper catalyst function (CO reduction > 70 %), verified by measurement of the CO concentration upstream and downstream of the catalyst (which may be done by a chimney sweep in Germany).

[11] Recommendation by the Bavarian Environmental Agency (LfU Bayern)

7 Referenzen

[1] Timmerer H. L., Lettner F.: Leitfaden - Anlagensicherheit und Genehmigung von Biomassevergasungsanlagen (Projektendbericht), Energiesysteme der Zukunft, Nr. 807786, 2005.

[2] Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM M 7132: Energiewirtschaftliche Nutzung von Holz und Rinde als Brennstoff, Begriffsbestimmung und Merkmale; Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 1998.

[3] Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM M 7133, Holzhackgut für energetische Zwecke, Anforderungen und Prüfbestimmungen; Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 1998.

[4] Nussbaumer Th., Neuenschwander P., Hasler Ph., Bühler R.: Energie aus Holz - Vergleich der Verfahren zur Produktion von Wärme, Strom und Treibstoff aus Holz. Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern (CH)1997, 153 Seiten, 1997.

[5] Europäisches Parlament und Rat: Richtlinie der europäischen Union 67/548/EWG über Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe unter den entsprechenden Änderungen der Richtlinie 1999/33/EG, Richtlinie 2001/59/EG sowie Richtlinie 92/32/EWG, 2001.

[6] Republik Österreich: BGBl. II Nr. 253/2001 i.d.F BGBl. II Nr. 184/2003 und BGBl. II Nr. 119/2004: Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit über Grenzwerte für Arbeitsstoffe und über krebserzeugende Arbeitsstoffe (Grenzwerteverordnung 2003 - GKV 2003), Anhang I/2003: Stoffliste, 2003.

[7] Armstrong B., Hutchinson E., Fletcher T.: Cancer risk following exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): a meta-analysis, London School of Hygiene and Tropical Medicine for the Health and Safety Executive, 2003.

[8] Steinbach J., Antelmann O., Lambert M.: Methoden zur Bewertung des Gefahrenpotentials von verfahrenstechnischen Anlagen, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitssschutz und Arbeitsmedizin, Berlin-Dortmund, 1991.

[9] Steen H.: Handbuch des Explosionsschutzes, Wiley-VCH, Willingdon/England, 2000.

[10] Kühnreich K., Bock F.-J., Hitzbleck R., Kopp H., Roller U., Woizischke N.: Ermittlung und Bewertung des Gefahrenpotentials für Beschäftigte in verfahrenstechnischen Anlagen und Lagereinrichtungen, Berlin-Dortmund, 1998.

[11] Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 1050, "Sicherheit von Maschinen - Leitsätze zur Risikobeurteilung", 1997.

[12] Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 1127 T1, "Explosionsfähige Atmosphären - Explosionsschutz, Teil 1: Grundlagen und Methodik", 1997.

[13] Siebenhofer M.: Sicherheitstechnik verfahrenstechnischer Anlagen; VTU Engineering - TU Graz; Vorlesungsskriptum; Grambach/Graz, 2003.

[14] Standard IEC: IEC 812/1985 - Analysis techniques for system reliability – procedure for failure mode and effect analysis FMEA, 1985.

[15] EKSC-Switzerland: Sicherheit: Einführung in die Risikoanalyse – Systematik und Methoden; Schriftenreihe Heft 4; Expertenkommission für die Sicherheit der chemischen Industrie in der Schweiz, 1996.

[16] http://www.hse.gov.uk/risk/faq.htm

[17] Timmerer H L: Anlagensicherheit und Prozessführung für thermische Biomassevergasungs-KWK-Anlagen mit gestufter Gaserzeugung, Institut für Wärmetechnik, TU Graz, 2007.

[18] Rogers R. L.: RASE Project Explosive Atmosphere: Risk Assesment of Unit Operations and Equipment; Methodology for the risk Assesment of Unit Operations and Equipment for Use in potential Explosive Atmosphere, March 2000.
[19] SHAPE-RISK: Sharing Experience on Risk Management (Health, Safety and Environment) to design Future Industrial Systems, 6th Framework Programm, 2007.
[20] Steinbach J., “Safety Assessment for Chemical Processes”, Wiley-VCH, 1999
[21] “Reducing Risks Protecting People - HSE’s decision-making process”, HSE Books, 2001
[22] Cusco L.: Standards - Good practice & goal setting, UK regulatory apporach, UK HSE Laboratory; Conference Paper, IEA - ThermalNet meeting, Innsbruck, 2005.
[23] Hummelshoj R.; Garde, F.; Bentzen, J.D.: Miljøprojekt 112 - Risk assessment at biomass gasification plants; Denmark Standardisation; COWI Consulting Engineers and Planners AS, 2006.
[24] DIN 6779-10, Kennzeichnungssystematik für technische Produkte und technische Produktdokumentation - Teil 10: Kraftwerke, 2007-04.
[25] EN 61346-1, Industrial systems, installations and equipment and industrial products. Structuring principles and reference designations. Part 1: Basic Rules, 1998-01-14.
[26] “Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis (2nd Edition)”, Center for Chemical Process Safety/AIChE, 2000
[27] http://www.hse.gov.uk/comah/circular/perm12.htm
[28] Middleton M, Franks A., “Using risk matrices”, The Chemical Engineer, 723, pp. 34–37, 2001
[29] **www.hse.gov.uk/comah/circular/perm12.htm#top**
[30] Environment Agency (UK): IPPC Sector Guidance Note Combustion Activities, Bristol, 2002
[31] NT ENVIR 010: Guidelines for Storing and Handling of Solid Biofuels, Nordic Innovation Centre, Oslo, Oct. 2008
[32] Christiansen, H. F., Danish Energy Authority; personal communication
[33] Schmoeckel, G., Bavarian Environmental Agency (LfU Bayern); personal communication

Nr.	Art der Gefährdung	Ort der Gefährdung Wo?	Ursache der Gefährdung Wann?	Potentielle Konsequenzen Was passiert?	Maßnahme Nr.	Empfohlene Gegenmaßnahmen Mögliche Maßnahmen zur Risikominderung	Maßnahme umgesetzt? (ja/nein)
1	**Feuer**						
		Die gesamte Anlage	Brandursache entweder eine Explosion, Selbstentzündung, glühende Partikel, Schweißarbeiten, etc.	Zündquelle für die Explosion	1,1	Bereitstellung von Ausrüstungen zur Branderkennung und Feuerbekämpfung wie: Tragbare Systeme: Feuerlöscher Festinstallierte Systeme: Schaumtürme, große Fließpumpen, Schaum Löschgeräte, automatische oder manuell betriebene Brandschutzsysteme.	
					1,2	Vergasungsanlagen sollten dem internationalen Stand der Technik bezüglich der Vorbeugung und Kontrolle von Feuer- und Explosionsrisiken entsprechen, einschließlich Sicherheitsvorkehrungen die den Abständen zwischen den Behältern innerhalb der Anlage sowie zwischen der Anlage und benachbarte Gebäude betreffen.	
					1,3	Feuerrückschlagsicherungen installieren	
				Schädigung oder Zerstörung der Vergasungsanlage oder des Gebäudes	1,4	Alle Brandschutzsysteme sollten in einem sicheren Bereich der Anlage untergebracht sein und durch ihre Entfernung zu anderen Anlagenteilen oder Brandwänden geschützt werden.	
				Körperliche Verletzungen von Menschen	1,5	Ein offizieller Plan für das Verhalten im Brandfall muss vorbereitet werden, dessen Ausführung durch die notwendigen Ressourcen und Schulungen unterstützt wird. Dies sollte Schulungen für Mitarbeiter über die Anwendung von Ausrüstung zur Feuerbekämpfung und das Verhalten im Falle einer Evakuierung einschliessen.	
		Brennstofflager		Unerwünschte Verbrennung von Kraftstoff	1,6	Brennstoffe in verschlossenen Behältern oder räumlich getrennt in seperaten Gebäude lagern. Eine feuerbeständige Trennung (mit einer bestimmten Feuerwiderstandszeit) zwischen dem Brennstofflager und dem Vergaser kann je nach lokalen Brandschutzvorschriften erforderlich sein.	
					1,7	Der Ascheaustrag sollte eine Befeuchtungsvorrichtung haben um glühende Partikel zu löschen. Man kann auch die Wendelförderer des Ascheaustrages (Ascheaustragsschnecke) mit Stickstoff inertisieren .	

		Vergasungseinrichtungen		Entweichen von toxischen Dämpfen	1,8	Die Lufteinlaßventile sollen verhindern, dass Rauch in die Aufenthaltsbereiche eintritt.	
					1,9	Mit einem sechmaligen Luftwechsel pro Stunde sollte für ausreichende Belüftung im Vergasergebäude gesorgt werden.	
					1,1	Einführen von sicherheitsbezogene Verhaltensvorschriften für Betrieb und Wartung. Diese sollten die Verwendung von störungssicheren Steuerventilen und Ausrüstungen für das Abschalten im Notfall miteinbeziehen.	
2	**ExplosionsfähigeAtmosphäre**						
		Die gesamte Anlage	Ein technischer oder Bedienfehler, der folgendes verursacht : 1. Unterdruck, 2. Überdruck, 3. Staubwolke	Lufteinströmung Gasaustritt	2,1	Maßnahmen zur Vermeidung von Explosionen einführen wie: - Mit Inertgas fluten - Zündquellen beseitigen - Staubablagerungen entfernen - Entstehung von Staubwolken - Den Boden sauber halten - Erdung der verschiedenen Bereiche der Anlage	
				Eine Explosion, die zu weiteren Explosionen führen kann (siehe Staubexplosionen), Zerstörung der Anlage, Feuer, etc.	2,2	Vergasungsanlagen sollten den internationalen Anforderungen zur Prävention und Kontrolle von Brand- und Explosionsgefahren entsprechend entworfen, gebaut und betrieben werden. Für sichere Entfernungen zwischen Behältern innerhalb der Anlage sowie zwischen der Anlage und benachbarten Gebäuden muss gesorgt werden.	
			Ein Gemisch aus brennbaren Gasen und Sauerstoff sind zusammen mit einer Zündquelle vorhanden	Kleinere Explosionen oder sogenannte Verpuffungen	2,3	Einführen von Verhaltensvorschriften für Betrieb und Wartung hinsichtlich der Sicherheit. Diese sollten die Verwendung von störungssicheren Steuerventilen und Ausrüstungen für das Abschalten im Notfall miteinbeziehen.	
				Schädigung oder Zerstörung der Vergasungsanlage und/oder Gebäude	2,4	Höchstwerte für die Konzentration von Sauerstoff an den Probenentnahmestellen definieren. Temperatur- und Drucksensoren sollten vor und nach den Hauptkomponenten der Anlage installiert werden. Installieren Sie Sauerstoffsensoren in den Gasleitungssystemen und überwachen Sie die Sauerstoffkonzentration, installieren Sie CO - Detektoren entlang der gesamten Anlage.	

		Das Auslaufen von brennbaren Flüssigkeiten	Eine Explosion kann einen Brand verursachen	2,5	Einen Wassertopf als Flammenwächter einsetzen und Gassensoren um Lecks aufzuzeigen	
	Bereiche der Anlage in denen feiner Staub und andere Partikel verarbeitet werden (Brennstofflagerung, Aschaustrag oder Staubentfernung...)	Feiner Staub und andere Partikel	Explosion, Brand	2,6	Organisatorische Vorkehrungen um Sauberkeit zu gewährleisten; Staubablagerungen und Verunreinigungen vermeiden; vermeide Staubbwolken und halte die Böden sauber; Rauchverbotsschilder anbringen	
				2,7	Die Anwendung von Zoneneinteilungskriterien bei der Wahl der elektrischen Ausrüstung während der Gestaltung. Die Einteilung in Ex-Zonen bestimmt welche Art oder Kategorie von Geräten erlaubt ist.	
	Bereiche des Gastransports	mindere Gasqualität		2,8	Nicht verbrannte Gase zum abfackeln leiten Inertisierung der Anlage mit Stickstoff Feuerrückschlagssicherungen verwenden Mit einem sechmaligen Luftwechsel pro Stunde sollte für ausreichende Belüftung im Vergasergebäude gesorgt werden.	
3	**Gefährliche Stoffe**					
	Die gesamte Anlage	Überdruck Leckagen Im Betrieb und bei der Wartung	Vergiftung durch das Entweichen von toxischen Gasen, CO Vergiftung Einige PAKs sind karzinogen Erstickungsgefahr (CO, PAK,…) Reizung der Augen und Atemwege	3,1	Betreiber sollten kleine tragbare CO Messgeräte mit sich führen	
				3,2	Das System so konstruieren, dass es gasdicht ist Kontrollräume sollten mit Überdruck gelüftet werden	
			Das Entweichen von CO in der Umgebung der Anlage und Umweltbelastung	3,3	CO Detektoren sollten in allen Anlagenbereichen (Lagergebäuden, Vergaserhüllen, im Gasmotorraum) installiert werden	
	Die gesamte Anlage beim Ein- und Ausschalten	brennbare Materialien	Brandentstehung Explosionen die zu weiteren Explosionen führen können (u.a. Staubexplosionen)	3,4	Die meisten Unfälle ereignen sich beim Ein- oder Ausschalten der Anlage. Darum sollten sich Mitarbeiter während diesen Zeiten nicht unnötig nahe an Systemkomponenten mit entzündliche Materialen (Vergaser, Zyklonbehälter, Filter, etc.) aufhalten.	

	Lagergebäude, Vergaserhülle und im Bereich des Gasmotors	Überdruck	Vergiftung durch das Entweichen von toxischen Gasen, CO Vergiftung Einige PAKs sind karzinogen Erstickungsgefahr (CO, PAK,…) Reizung der Augen und Atemwege	3,5	Feste CO Detektoren, die bei CO Werten oberhalb 25/ 50 ppm alarmieren, sollten in Lagergebäuden, Vergaserhüllen, im Gasmotorraum und in Kontrollräumen installiert werden.	
				3,6	Mit einem sechsmaligen Luftwechsel pro Stunde sollte während des Betriebs für ausreichende Belüftung im Vergasergebäude gesorgt werden.	
	Wassertopf			3,7	Bei der Konstruktion auf Gasdichtheit achten entsprechend der Stand der Technik für COMAH (Seveso II) Betriebe.	
	Im Bereich des Aschaustrags	Glühende Kohlepartikel und hohe Temperaturen	Brandentstehung Explosionen die zu weiteren Explosionen führen können (u.a. Staubexplosionen)	3,8	Der Aschaustrag sollte eine Befeuchtungsvorrichtung haben um glühende Partikel zu löschen	
				3,9	Im Bereich des Aschaustrags mit Wasser besprühen	
		Fremdmaterial	Beschädigungen im Bereich des Aschaustrags	3,10	Bereich der Brennstoffvorbehandlung verbessern + im Bereich des Aschaustrags mit Wasser besprühen	
	Im Bereich der Gasreinigung	Glühende Partikel Leckagen Lager- oder Auffangbehälter	Brandentstehung Explosionen die zu weiteren Explosionen führen können (u.a. Staubexplosionen)	3,11	Glühende Partikel sollten daran gehindert werden in die nachgelagerte Gasreinigung zu gelangen. Dies kann durch die Installation einer Flammenrückschlagsicherung oder durch die Kombination eines Zyklons mit einem Absenkkasten erfolgen.	
	Nasswäschesysteme und Partikelfilter für die Entfernung von Flugasche	Giftige Stoffe + Karzinogenität durch Mittel zur Entfernung bzw. zum Recycling von Teer	Umweltverschmutzung durch Waschwasser	3,12	Das Aufbewahren in Sammelbehältern, die durch zertifizierte Firmen abgeholt und entsorgt werden, so wie es in der jeweiligen Genehmigung vorgeschrieben wird	
			Vergiftung der Mitarbeiter, Verletzungen Reizung	3,13	Vermeiden Sie die Herstellung von unnötigem toxischem Material; nur die Erzeugung von toxischen Produkten wie das Generatorgas und das Waschwasser kann nicht umgangen werden. Bereitstellung von Mitteln zum persönlichen Schutz: Schutzbrille, Handschuhe, Sicherheitschuhe, CO Messgeräte.	
				3,14	geeignete Schutzkleidung tragen	
				3,15	Betreiber sollten Handschuhe, Schutzbrille und Sicherheitsschuhe tragen	

		Gasmotor	Hohe CO Konzentration		3,16	CO kann durch Detektoren registriert werden. Im Betriebshandbuch sollte das Verhalten beim CO Alarm genau dokumentiert sein.	
4	**Gefahren während dem Betrieb und bei der Wartung**						
		Die gesamte Anlage	rotierende Teile	Verletzungen	4,1	Bewegliche Teile sollten durch perforierte Platten abgegrenzt sein, gut sichtbare Schilder tragen und einen Notaus haben.	
			Schweißarbeiten	Brandentstehung Explosionen die zu weiteren Explosionen führen können (u.a. Staubexplosionen), Zerstörung der Anlage, Brände etc.	4,2	Hitzeerzeugende Wartungsarbeiten (Reinigung der Behälter, Lüftung) dürfen nur mit Genehmigung ausgeführt werden. Reparaturarbeiten wie Schweissarbeiten dürfen nur von dafür zugelassenen Personen ausgeführt werden.	
			Brennbares Material explosionsfähige Gemische /Atmosphären		4,3	Reparaturen wie Schweißarbeiten dürfen nur an dafür vorbereiteten Systemen durchgeführt werden. Leicht entzündliche Materialien und explosive Gemische oder Atmosphären müssen entfernt oder vermieden werden bevor solche Arbeiten durchgeführt werden können.	
			toxische Gase/ Erstickungsgefahr	Gasvergiftung, CO Vergiftung Erstickungsgefahr (CO, PAK,…) Reizung der Augen, etc.	4,4	Mitarbeiter sollten bei Wartung der Anlage den Kontakt mit und das inhalieren von toxischen Gasen oder Flüssigkeiten vermeiden. Dies würde die meisten Unfälle, die während der Wartung passieren können verhindern. Alle Wartungsprozeduren sollten genau dokumentiert sein und es sollte für eine ordentliche Betriebsführung gesorgt werden.	
			Anwendungsfehler im Betrieb und bei der Wartung	verschiedene mögliche Konsequenzen	4,5	Sorgen Sie dafür, dass nur qualifiziertes Fachpersonal die Anlage betreiben und warten darf. Entsprechende Schulungen für das Personal anbieten	
				Materialverschlechterung an Erdungsverbindungen und daraus resultierende Fehlfunktionen	4,6	**Formvorschriften die Nutzung und Wartung von geerdeten Leitungen einführen**	
			Fehlprogrammierung des Steuerungssystems	Falsche Einstellungen und damit verbundene Fehlfunktionen die zu	4,7	Sicherheitsbezogene Änderungen an der Prozesssteuerung dürfen nur von besonders ausgebildetem Personal durchgeführt werden und müssen im Logbuch dokumentiert werden.	

			verschiedene Konsequenzen führen	4,8	**Sicherstellen, dass Alarmeinstellungen nur Reprogrammiert werden nach dem ein Problem behoben wurde**	
	Reaktor	Fehlfunktion	Druckzunahme die zu Fehlzündungen im vorherigen Abschnitt führen sowie zum Gasaustritt und die damit verbundene Konsequenzen (vgl. Abschnitt 3)	4,10	Schutz vor Fehlzündungen im Reaktor anbringen	
	Gasfackel	schlechtes Wetter und damit einhergehende mindere Qualität des Gases		4,11	Fehlzündungen können durch den Einsatz einer Flammenrückschlagsicherung oder einer Wasservorlage verhindert werden. (siehe hierzu EN 12874) automatische Zündung	
				4,12	Wenn Druck (oder Gas aus einem Behälter) abgelassen werden muss sollte das Gas zur Fackel geleitet werden. Die Querschittsfläche des Druckablaßkanals sollte ungefähr die doppelte Fläche des Druckablaßventils haben.	
	Gaseinlass	Falsche Zeiteinstellung bei der Zündung		4,13	Schutz vor Fehlzündungen im Bereich der Lufteinlässe zum Motor gemäß nationaler Bestimmungen installieren/ Vor dem Motor sollte eine Flammenrückschlagssicherung eingebaut werden/ Schutzventil gegen Fehlzündungen im Bereich der Luftansaugung des Motors	
	an den Ventilen	Überdruck		4,14	Sicherheitsbestimmungen für den Betrieb und die Wartung festlegen, einsschliesslich dem Gebrauch von störungssichere Steuerventile, das Vorgehen beim Notaus und der Verwendung von Druckmeßgeräte.	
	Im Vergasungsreaktor	Lokal können höhere Sauerstoffkonzentrationen auftreten	Brandentstehung Explosionen, die zu weiteren Explosionen führen können (u.a. Staubexplosionen), Zerstörung der Anlage, Brände etc.	4,15	Zwei Notausgänge nach draußen sollten vom Vergaserraum oder vom Motorraum aus vorhanden sein.	
	Beim Einschalten	explosive Atmosphären Zündquellen		4,16	Gas zum abfackeln leiten, die gesamte Anlage mit Stickstoff fluten	
	Beim Ausschalten	explosive Atmosphären Zündquellen		4,17	Fluten mit Stickstoff In der Praxis wird auch mit Luft geflutet. Hier werden explosionsfähige Atmosphären jedoch nicht vermieden – Zündquellen sind vorher zu beseitigen (sekundäre Explosionsschutzmaßnahme).	
5	**Gefahr durch Hitze**					

	Brennstofflagerung, Transport und Materialzufuhr	Temperaturanstieg	Selbstzündung des Rohstoffs	5,1	Temperaturmessung bei großen Rohstoffstapeln, CO Sensoren und Sprinkleranlagen installieren	
	Heisse Oberflächen der Gaskühler	Chemische Reaktionen	Überhitzung von Materialien wie die feuerfeste Auskleidung oder Ventileinstellungen, etc. das zu einer Störung des Kühlprozesses führt. Dies kann die Entstehung von vielen möglichen Gefahren, wie z.B. Gasaustritt führen.	5,3	Ascheaustrag mit Wasser besprühen, Intervalle für Wartungsarbeiten festlegen, Material aus korrosionsfreiem Stahl; Leckagen mithilfe von Temperatursensoren registrieren, falls die festgesetzte Grenze für Selbstentzündung überschritten wird.	
	Heisse Oberflächen des Reaktors, Zyklons	Hohe Temperatur	Thermische Belastung und Korrosion	5,4	Regelmäßige Inspektion und Wartung	
			Verletzung der Mitarbeiter	5,5	Ordentliche Isolierung und Abschirmung Tragen von hitzeresistenten Handschuhen	
6	**Elektrische Gefahren**					
	Die gesamte Anlage	Stromausfall	Druckzunahme die zum Entweichen von Gasen führt und deren Konsequenzen (vgl. Abschnitt 3)	6,1	Notaus gemäß den Sicherheitsbestimmungen	
		Elektrostatische Aufladung	Brandentstehung Explosionen die zu weiteren Explosionen führen können (u.a. Staubexplosionen), Zerstörung der Anlage, Brände etc.	6,2	Eine ordnungsgemäße Erdung wird empfohlen um elektrostatische Aufladung zu vermeiden und Schäden durch Blitzeinschlägen vorzubeugen.	
		Funken		6,3	Elektrische Anlagen sollten eigensicher sein und es sollten funkenfreie Werkzeuge verwendet werden Schneckenförderer sollten einen Drehzahlmonitor und Drehzahlregler haben	

	Überall wo explosionsfähige Atmosphären auftreten können	Schlechte Einteilung in Ex-Zonen		6,4	Die Instrumentation und Elektrik sollte Zone 1 entsprechen, andernfalls müssen die Teile gesichert werden. Im Vergaser selbst sollten die Teile Zone 2 entsprechen.	
	Gasführende Anlagenteile		Brandentstehung Explosionen die zu weiteren Explosionen führen können (u.a. Staubexplosionen), Zerstörung der Anlage, Brände etc.	6,5	Es wird empfohlen, alle gasleitenden Teilen zu erden.	
	PLC Programmable Logic Controller	Elektrostatische Aufladung	**Malfunction of the PLC**	6,6	Messgeräte sind galvanisch zu trennen. Die programmierbare Steuerung sollte geerdet sein.	
		Stromausfall		6,7	Programmierbare Steuerungen müssen mit einer unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) ausgestattet sein.	
	Luftansaugung des Motors	Elektrischer Durchschlag	Fehlzündung im Bereich des Lufteinlasses	6,8	Es müssen geschützte Leitungen eingesetzt werden um Stromausfälle zu vermeiden die Fehlzündungen hevorrufen könnten.	
7	**Mechanische Gefahren**					
	Förderbänder, Elektromotoren	scharfe Kanten und Teile	Verletzung der Mitarbeiter	7,1	Abschirmung, sichtbare Schilder, Notaus	
				7,2	Notausschalter und Leistungsschalter (lokal) sollten auf rotierenden Teilen, Steuerungspulten, Druckablaß- und Sicherheitsventilen angebracht werden, die zu gasführende Anlagenteile führen wie z.B. im Bereich der Materialeinspeisung, Zyklonen, und des Ascheaustrags.	